

Série A. N° 1698

N° d'ordre : 2564

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

Raymond LATARJET

Licencié ès sciences physiques

Pharmacien

*Chargé des fonctions de chef des travaux de physique biologique
à la Faculté de Médecine de Lyon*

1^{re} THÈSE. — Le dosage des rayonnements ultraviolets utilisés
en thérapeutique..

2^e THÈSE. — Propositions données par la Faculté.

Soutenues le 12 Mars 1937 devant la Commission d'examen.

MM. FABRY, *Président.*

JOB

LAUGIER

} *Examineurs..*

LYON

BOSC Frères, M. & L. RIOU

IMPRIMEURS-ÉDITEURS

42, Quai Gailleton, 42

1937

**LE DOSAGE DES RAYONNEMENTS ULTRAVIOLETS
UTILISÉS EN THÉRAPEUTIQUE**

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

Doyen honoraire M. MOLLIARD.
Doyen C. MAURAIN, *Professeur*, Physique du Globe.

<i>Professeurs honoraires</i> ..	(	H. LEBESGUE.	GUILLET.	JANET.
		A. FERNBACH.	PÉCHARD.	LESPIEAU.
		A. LEDUC.	FREUNDLER.	MARCHIS.
		Emile PICARD.	AUGER.	VESSIOT.
		Rémy PERRIER.	BLAISE.	P. PORTIER
	(	Léon BRILLOUIN.	DANGEARD.	

PROFESSEURS

G. BERTRAND ...	T Chimie biologique.	L. JOLEAUD	Paléontologie.
M. CAULLERY ...	T Zoologie (Evolution des êtres organisés).	ROBERT-LÉVY ...	T Physiologie comparée.
G. URBAIN ...	T Chimie générale.	F. FIGARD	Zoologie (Evolution des êtres organisés).
Emile BOREL ...	T Calcul des probabilités et Physique mathématique.	Henri VILLAT ...	T Mécanique des fluides et applications.
Jean PERRIN	T Chimie physique.	Ch. JACOB	T Géologie.
H. ABRAHAM	T Physique.	P. PASCAL	T Chimie minérale.
E. CARTAN	T Géométrie supérieure.	M. FRÉCHET	T Calcul des Probabilités et Physique mathématique.
M. MOLLIARD ...	T Physiologie végétale.	E. ESCLANGON ...	T Astronomie.
L. LAPICQUE	T Physiologie générale.	Mme RAMART-LUCAS ..	T Chimie organique.
A. COTTON	T Recherches physiques.	H. BÉGHIN	T Mécanique physique et expérimentale.
J. DRACH	T Analyse supérieure et Algèbre supérieure.	FOCH	Mécanique expérimentale des fluides.
Charles FABRY ..	T Enseignement de Physique.	PAUTHENIER	Physique (P.C.B.).
Charles PÉREZ ...	T Zoologie.	De BROGLIE	T Théories physiques.
Léon BERTRAND ..	T Géologie structurale et géologie appliquée.	CHRÉTIEN	Optique appliquée.
E. RABAUD	T Biologie expérimentale.	P. JOB	Chimie générale.
M. GUICHARD	Chimie minérale.	LABROUSTE	Physique du Globe.
Paul MONTEL ...	T Théorie des fonctions et Théorie des transformations.	PRENANT	Zoologie.
P. WINTREBERT ..	T Anatomie et histologie comparées.	VILLEY	Mécanique physique et expérimentale.
L. BLARINGHEM ..	T Botanique.	BOHN	Zoologie (P.C.B.).
O. DUBOSQ	T Biologie maritime.	COMBES	Botanique (P.C.B.).
G. JULIA	T Mécanique analytique et Mécanique céleste.	GARNIER	T Mathématiques générales.
C. MAUGUIN ...	T Minéralogie.	PÈRES	Mécanique théorique des fluides.
A. MICHEL-LÉVY ..	T Pétrographie.	HACKSPILL	Chimie (P.C.B.).
H. BÉNARD	T Mécanique expérimentale des fluides.	LAUGIER	Physiologie générale.
A. DENJOY	T Application de l'analyse à la Géométrie.	TOUSSAINT	Technique Aéronautique.
L. LUTAUD	T Géographie physique et géologie dynamique.	M. CURIE	Physique (P.C.B.).
Eugène BLOCH ...	T Physique théorique et physique céleste.	G. RIBAUD	T Hautes températures.
G. BRUHAT	Physique.	CHAZY	T Mécanique rationnelle.
E. DARMOIS	Enseignement de Physique.	GAULT	Chimie (P.C.B.).
A. DESBIÈRE	T Physique générale et radio-activité.	CROZE	Recherches physiques.
A. DUFOUR	T Physique (P.C.B.).	DUPONT	T Théories chimiques.
L. DUNOYER	Optique appliquée.	LANQUIN	Géologie.
A. GUILLIERMOND.	T Botanique.	VALIRON	Mathématiques.
M. JAVILLIER ...	Chimie biologique.	BARRABÉ	Géologie structurale et géologie appliquée.
		MILLOT	Zoologie (P.C.B.).
		F. PERRIN	Théories physiques.
		VAVON	Chimie organique.
		G. DARMOIS	Calcul des Probabilités et Physique-Mathématique.

Secrétaire A PACAUD
Secrétaire honoraire D TOMBECK



A MON PERE

ANDRÉ LATARJET

Professeur d'Anatomie à la Faculté de Médecine de Lyon

Qui m'apprit à aimer le jeu des choses
et des idées.

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR CHARLES FABRY

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris
Membre de l'Institut

A MON MAÎTRE

MONSIEUR GEORGES DEJARDIN

Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon

PREFACE

Ce travail a été entièrement exécuté au Laboratoire de Physique Générale de la Faculté des Sciences de Lyon.

Après en avoir été l'instigateur, M. le Professeur Déjardin en surveilla les détails avec une sollicitude et une bienveillance dont le prix ne m'a pas échappé. J'aimerais qu'il sache trouver dans les remerciements que je lui adresse ici, en une formule trop banale, ma respectueuse admiration et ma profonde reconnaissance.

En acceptant d'examiner mon travail et d'en présider l'exposé, M. le Professeur Fabry lui fait un singulier honneur. Il l'intègre parmi les recherches nées de son école ; il l'introduit dans la famille de ses élèves. Je voudrais, en lui exprimant ici ma profonde gratitude, lui dire mon espoir de respecter les traditions scientifiques de cette famille, auxquelles son disciple, M. Déjardin, m'a déjà initié.

MM. les Professeurs Laugier et Job ont bien voulu faire partie de mon jury de thèse. Je suis heureux de les remercier de l'honneur qu'ils m'accordent, ainsi que de leur souillant accueil.

Il m'est enfin agréable d'associer ici à ma reconnaissance :

M. le Professeur J. Dufay et M. J. Thovet dont les conseils me furent souvent précieux.

Mon ami René Falgon pour son efficace collaboration.

La Maison Gallois, en la personne de M. Lamare, qui me procura aimablement de nombreux appareils utiles à mon expérimentation.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

LE DOSAGE DES RAYONNEMENTS ULTRAVIOLETS UTILISÉS EN THÉRAPEUTIQUE

AVANT-PROPOS

Les nombreuses observations relatives aux applications médicales des rayons ultraviolets ont permis de dégager certains faits dont il faut tenir compte dans l'établissement d'une thérapeutique rationnelle. On a reconnu, en particulier, que les rayons ultraviolets se comportent comme un « médicament physique » dont l'efficacité maximum correspond à une dose assez bien définie. Tandis que les doses inférieures sont peu efficaces, celles qui dépassent nettement la dose convenable deviennent dangereuses et peuvent déterminer, chez les sujets, des accidents locaux ou même généraux.

La dose à administrer ne peut être choisie une fois pour toutes, car le sujet fréquemment irradié s'accoutume et affermit sa tolérance vis-à-vis du rayonnement ultraviolet. Pour conserver au traitement son efficacité, il convient donc d'augmenter progressivement la dose à laquelle le sujet est périodiquement soumis. Cette condition essentielle n'a pas échappé aux premiers praticiens, et l'on peut citer, comme exemple, le célèbre schéma d'insolation de Rollier, d'après lequel il faut accroître en même temps la surface insolée et la durée de l'insolation.

SCHÉMA DE ROLLIER

	<i>Jours</i>									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pieds	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Jambes		5	10	15	20	25	30	35	40	45
Cuisses			5	10	15	20	25	30	35	40
Abdomen ou dos				5	10	15	20	25	30	35
Thorax					5	10	15	20	25	30

Les nombres représentent la durée de l'exposition en minutes.

Variations de l'activité des sources

Un tel schéma suppose constante l'activité thérapeutique du rayonnement solaire. Un chapitre ultérieur précisera les erreurs que comporte une telle supposition. On peut se contenter de signaler ici que les conditions atmosphériques et la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon constituent deux facteurs éminemment variables qui, par suite de leur influence sur l'absorption due à l'atmosphère, modifient considérablement l'activité des rayons qui parviennent au sol (49).

Des variations inévitables se produisent aussi dans l'émission des sources artificielles, telles que les lampes à vapeur de mercure. La transparence de leur enveloppe, vis-à-vis de toutes les radiations, diminue peu à peu — même dans le cas de la silice fondue — au point de réduire à trente ou vingt pour cent de leurs valeurs initiales les intensités des rayonnements émis par ces lampes après un millier d'heures de fonctionnement (2). Ce phénomène, encore mal connu, peut être attribué à l'action photochimique des radiations, à la température élevée résultant du passage de la décharge, et aussi au bombardement électronique et ionique auquel est soumise la face interne de l'enveloppe. L'apparition des raies

du silicium et de l'oxygène dans le spectre d'émission de lampes à enveloppe de quartz semble traduire une décomposition de la silice avec dépôt de silicium opaque qui diminuerait la transparence générale de l'enveloppe (8).

Les différents verres que l'on utilise parfois pour supprimer les radiations de longueurs d'ondes inférieures à une certaine limite, subissent aussi, en général, des effets analogues, après une courte durée d'irradiation par les lampes à vapeur de mercure (18). Notons, en passant, que le rayonnement solaire, au contraire, n'affecte pas la transparence de ces verres (32).

Ainsi le praticien ne connaît-il généralement pas avec précision l'activité de la source qu'il utilise. Il en résulte une première difficulté dans le choix et dans l'évaluation de la dose administrée au malade.

Ecart de sensibilité

Les écarts de sensibilité présentés par divers patients, compliquent encore notablement l'utilisation rationnelle des rayons ultraviolets. Cette question a fait l'objet d'importantes recherches de J. Saidman, recherches dont on peut résumer les conclusions de la façon suivante (71) :

La sensibilité varie d'abord d'un sujet à l'autre ; en outre, chez un même sujet, elle dépend surtout de l'âge et de l'état pathologique. Si l'on considère la sensibilité cutanée, on trouve, pour une même région irradiée, des écarts individuels atteignant de 1 à 400.

En étudiant un grand nombre de sujets (plusieurs centaines) on trouve qu'ils se répartissent en trois groupes d'égale importance. Les uns présentent une sensibilité moyenne, dite normale ; les autres sont hyposensibles et hypersensibles. En général, les plus gros écarts correspondent à des troubles pathologiques accentués. D'ailleurs certaines affections prédisposent à l'hypersensibilité, d'autres à l'hyposensibilité. Les enfants sont, en général, peu sensi-

bles ; leur sensibilité croît avec l'âge pour atteindre un maximum vers 25 ou 30 ans. Le traitement des adultes exigera donc plus de délicatesse que celui des enfants.

Ainsi la sensibilité du malade doit-elle être déterminée avant toute irradiation, puis périodiquement contrôlée, lors des cures prolongées.

Irradiations

Après examen préalable de sa sensibilité, le sujet est soumis au rayonnement d'une certaine source, naturelle ou artificielle. On en peut comparer le rayonnement à une préparation pharmaceutique de composition variable dans laquelle se trouverait incorporé un principe actif (radiations actives) en proportion inconnue. Le dosage du rayonnement total ne pouvant, en général, fournir aucune indication sur l'importance de la fraction efficace, celle-ci doit être l'objet d'une détermination directe ⁽¹⁾.

En résumé, tout traitement rationnel par les rayons ultraviolets exige une double détermination préalable :

1° Celle de la sensibilité du malade qui, jointe à la connaissance de l'affection à traiter, permet de choisir les doses qu'il convient d'administrer ;

2° Celle de l'activité de la source utilisée qui, compte tenu de la dose fixée, permet de préciser les conditions dans lesquelles le sujet doit être irradié.

I. — DÉTERMINATION DE LA SENSIBILITÉ.

Cette première opération peut être effectuée actuellement d'une manière assez précise, grâce au test sensitométrique

(1) *Nota.* — On conçoit difficilement, par exemple, qu'un médecin prescrive de la strychnine sous forme de teinture de noix vomique, sans connaître le titre de cette teinture en alcaloïde actif. Aussi a-t-on convenu d'un titre bien déterminé. Lorsque le médecin ordonne, pour chaque dose, un certain nombre de gouttes de teinture, il sait exactement la quantité de strychnine qu'elles renferment.

de Saidman (71). Si l'on prend pour témoin de la sensibilité générale d'un individu sa sensibilité cutanée à l'érythème — on verra plus loin une discussion approfondie de cette convention — il est possible de déterminer rapidement, en une première séance, la durée de l'irradiation nécessaire pour provoquer chez lui tel ou tel degré d'érythème. Tel est le principe d'une méthode dont l'exposé des détails dépasserait le cadre restreint de cet avant-propos. Spécifions simplement qu'elle ne fournit pas la sensibilité du sujet par rapport à une échelle étalon dont on concevrait aisément l'existence, mais simplement sa sensibilité à l'égard de la source utilisée.

II. — DÉTERMINATION DE L'ACTIVITÉ DE LA SOURCE.

Ce problème de la dosimétrie ultraviolette a suscité d'innombrables recherches à la suite desquelles de multiples appareils de dosage ont été établis. Malheureusement, la plupart d'entre eux manquent de la précision désirable en pareil cas. Il n'était donc pas superflu de chercher à apporter, dans ce domaine, une contribution nouvelle. Tel est le but du présent travail.

Avant d'aborder une revue des tentatives antérieures, avant d'exposer ensuite le principe de l'appareil que j'ai réalisé et les résultats qu'il m'a permis d'obtenir, il convient, dans un chapitre préliminaire, de poser le problème avec précision, d'en définir le caractère et les données, puis d'en fixer les limites exactes.

•

CHAPITRE I

INTRODUCTION A LA DOSIMETRIE DU RAYONNEMENT ULTRAVIOLET DES DIFFERENTES SOURCES UTILISEES EN THERAPEUTIQUE

I. — Mesure de l'intensité d'un rayonnement Principes généraux

Pour déterminer l'intensité d'un rayonnement quelconque, monochromatique ou complexe, il faut, par un artifice approprié, transformer l'énergie transportée sous forme de radiations, en une autre forme d'énergie susceptible d'être mesurée directement. Ainsi, dans certaines conditions, on peut admettre que l'absorption d'un faisceau de lumière s'accompagne d'une transformation quasi intégrale de l'énergie rayonnante incidente en une quantité équivalente de chaleur. Le dégagement de chaleur par unité de temps, ou débit de chaleur, est alors proportionnel à l'intensité du faisceau. Sa mesure, au moyen d'un appareil approprié, donne en unités arbitraires l'intensité énergétique du faisceau de lumière.

L'appareil au sein duquel s'effectue la transformation de l'énergie rayonnante est un récepteur. Nombreux et variés sont les récepteurs actuellement connus. On a été conduit à les classer en trois catégories suivant la nature de l'effet produit par la lumière.

1° *Récepteurs thermiques* où l'énergie lumineuse est dégradée sous forme de chaleur. Les principaux en sont la thermopile et le bolomètre.

2° *Récepteurs photochimiques* où la lumière détermine

une perturbation d'ordre chimique. C'est le cas de la plaque photographique.

3° *Récepteurs électriques* qui mettent en jeu l'un des effets électriques de la lumière, soit :

a) L'émission de charges négatives par la surface irradiée, ou « effet photo-électrique » utilisé dans les cellules photo-électriques.

b) L'augmentation de la conductibilité électrique de certains corps sous l'action d'un rayonnement : récepteurs photo-conducteurs (Sélénium, Thallosfide).

c) L'apparition, dans certains appareils, d'une force électromotrice. Les plus importants d'entre eux actuellement utilisés sont les « cellules à couche d'arrêt ».

La plupart des récepteurs ne se comportent pas de la même manière à l'égard des divers rayonnements monochromatiques de même intensité. La « réponse » du récepteur ne dépend pas seulement, en général, de l'intensité du rayonnement, mais de sa fréquence, s'il est monochromatique, ou de sa composition spectrale, s'il est complexe. On dit, dans ce cas, que le récepteur est *sélectif*.

Seuls les récepteurs thermiques ne sont pas sélectifs. Tous les autres : œil, cellule photo-électrique, cellule à couche d'arrêt, plaque photographique, actinomètre chimique, etc., sont sélectifs. Leur utilisation est donc soumise à la connaissance de leur courbe spectrale de sensibilité qui donne, en fonction de la longueur d'onde, l'intensité de l'effet produit, à énergie égale, par toutes les radiations.

La sélectivité n'intervient pas si l'on se contente d'étudier les variations d'un rayonnement monochromatique ou de répartition spectrale énergétique invariable. Mais si cette répartition varie, ou si l'on fait porter les mesures sur des rayonnements différents (cas général), il n'y a plus proportionnalité entre la réponse du récepteur et le flux énergétique incident. Il devient alors nécessaire de connaître la composition spectrale de chaque rayonnement et la courbe spectrale de sensibilité du récepteur.

II. — Cas d'un rayonnement biologiquement actif

La connaissance de l'intensité énergétique d'un rayonnement ne renseigne pas directement sur l'action biologique qu'il exerce dans des conditions déterminées. La notion de l'énergie transportée par le rayonnement, cède le pas à une grandeur caractéristique du rayonnement étudié, en rapport avec l'intensité des effets biologiques qu'il est capable de produire, et dont la mesure doit renseigner sur l'intensité de ces effets. Cette grandeur peut être désignée sous le nom d'*Activité*. On dira qu'un rayonnement est deux fois plus actif qu'un autre lorsque, dans des conditions déterminées d'exposition, le flux qu'il transporte produit le même effet physiologique qu'un flux deux fois plus grand transporté par le second.

Afin de définir cette activité d'une manière précise, considérons un élément de surface égal à l'unité recevant, normalement à son plan, un rayonnement quelconque. Désignons par $\Phi_\lambda d\lambda$ le flux énergétique, exprimé en watts, par exemple, correspondant aux radiations dont les longueurs d'onde sont comprises entre λ et $\lambda + d\lambda$. Φ_λ représente la densité de flux monochromatique rapportée à l'unité de longueur d'onde. L'activité monochromatique A_λ est, d'après la définition qui vient d'en être donnée, proportionnelle à cette densité.

Il vient donc :

$$A_\lambda = E_\lambda \cdot \Phi_\lambda$$

Le coefficient de proportionnalité E_λ caractérise l'efficacité de la radiation λ . Remarquons que E_λ varie avec λ ; cette variation traduit précisément l'effet sélectif des radiations vis-à-vis des organismes vivants.

L'Activité biologique monochromatique, produit d'une densité de flux par l'efficacité monochromatique, apparaît comme une densité de flux évaluée selon son efficacité biologique.

Dans ces conditions, l'activité biologique d'un rayonnement complexe a pour expression :

$$A = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} A_\lambda d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda \Phi_\lambda d\lambda$$

où λ_1 et λ_2 représentent les limites du domaine spectral des radiations actives.

L'activité A dépend ainsi, d'une part, de la distribution spectrale énergétique du rayonnement considéré, c'est-à-dire de la courbe qui représente la variation de Φ_λ avec la longueur d'onde, et d'autre part, de la loi de variation $E_\lambda = f(\lambda)$ du facteur d'efficacité monochromatique. Une fois la courbe d'énergie déterminée à l'aide des procédés classiques de la spectrophotométrie, il convient de définir E_λ et de rechercher ses variations en fonction de la longueur d'onde.

— Le coefficient E_λ a été défini comme le facteur d'efficacité biologique de la radiation λ . Le caractère général d'une telle définition implique que la radiation λ conserve dans tous les phénomènes qu'elle est capable de produire, la même importance relative. Supposons, par exemple, que les courbes spectrales d'efficacité monochromatique soient identiques pour les divers effets biologiques étudiés. On pourrait dire alors que telle radiation λ_1 est, vis-à-vis de *tous* les phénomènes envisagés, deux fois moins active, par exemple, que telle autre radiation λ_2 . L'activité biologique de λ_2 serait donc deux fois plus grande que celle de λ_1 . Le coefficient E_{λ_2} aurait alors la signification générale d'un « facteur d'efficacité biologique » auquel on attribuerait les valeurs $E_{\lambda_1} = 1$ et $E_{\lambda_2} = 2$.

Les phénomènes photobiologiques obéissent malheureusement à des lois plus complexes. Les recherches entreprises à cet égard, encore très incomplètes, montrent cependant que l'activité relative d'une radiation donnée, n'est pas la même vis-à-vis des divers phénomènes biologiques. Telle radiation prépondérante dans la formation de l'érythème sera, par exemple, douée de propriétés bactéricides très faibles.

Il nous faut donc renoncer au cas général primitivement envisagé et choisir un phénomène biologique particulier qui

puisse servir de base à la définition précise d'un facteur d'efficacité et à la détermination de ses variations spectrales. Afin de donner à ce facteur une signification et une portée aussi larges que possible, il convient de choisir un phénomène particulier, assez simple pour se prêter à des évaluations précises, et dont l'étude approfondie aura révélé, en outre, l'importance biologique.

III. — Choix du phénomène

Notre choix doit donc porter sur un phénomène qui remplit essentiellement les deux conditions suivantes :

a) Au point de vue spectral, il doit se rapprocher des autres d'aussi près que possible ; sa courbe d'efficacité monochromatique $E_{\lambda} = f(\lambda)$ doit synthétiser au mieux les courbes fournies par d'autres phénomènes connus. L'importance qu'il accorde à chaque radiation doit traduire autant que possible son intérêt biologique général.

b) Il doit être accessible à une étude systématique qui permette de déterminer avec précision les valeurs du coefficient E_{λ} qui lui correspond.

Cette seconde condition limite le choix aux seuls phénomènes photobiologiques actuellement étudiés au point de vue spectral. Ils sont peu nombreux. Seuls, les phénomènes relatifs aux modifications sanguines, à la formation de la vitamine D, et à la production de l'érythème, ont fourni quelques résultats que nous rappellerons succinctement.

Les données relatives à l'augmentation du nombre des éléments figurés du sang sont assez peu précises. Laurens signale une courbe spectrale d'activité en forme de cloche avec un maximum voisin de 3.000 Å [55]. En ce qui concerne la formation de vitamine D à partir d'une solution d'Ergostérol soumise à l'irradiation ultraviolette, on sait que les radiations de longueur d'onde supérieure à 3.130 Å sont inactives : à partir de ce seuil, l'activité croît avec la fré-

quence des radiations selon l'absorption de l'ergostérol, qui présente une bande à plusieurs maxima, entre 2.940 et 2.820 Å. Les radiations de longueur d'onde inférieure à 2.750 Å détruisent la vitamine D (64).

Ces données nous fournissent une première branche de la courbe d'activité spectrale, ascendante à partir de 3.130 Å et présentant un maximum vers 2.950 Å. Mais elles sont insuffisantes pour nous permettre de déterminer les coefficients d'efficacité monochromatique relatifs à un phénomène considéré.

Il reste alors l'érythème de la peau dont l'importance vis-à-vis du problème de la dosimétrie ultraviolette mérite un développement particulier.

IV. — L'érythème actinique

Il s'agit d'un phénomène vasculaire bien connu qui correspond au classique « coup de soleil ».

Lorsque l'on soumet un sujet à une irradiation locale, on observe après un certain temps de latence une réaction inflammatoire locale des téguments irradiés. La dilatation des capillaires dermiques superficiels détermine une rougeur diffuse. On observe en même temps, en général, un œdème, du prurit et une hyperthermie locale. Cette élévation de température n'est pas due à l'action physique des radiations. Elle représente une réaction physiologique réflexe de défense contre l'érythème.

Au bout d'un certain temps, la rougeur diminue tandis qu'apparaît la couleur bronzée caractéristique de la pigmentation mélanique. Peu de temps après, on assiste à une desquamation des couches épidermiques superficielles.

L'érythème peut revêtir, chez un sujet, différentes formes, suivant l'intensité de l'irradiation à laquelle il a été soumis. On distingue ainsi plusieurs degrés d'érythème allant de la simple rougeur qui disparaît en un ou deux jours, jusqu'à la brûlure du second degré.

Au point de vue thérapeutique, ce phénomène est sans importance. Comme il confère à la peau une plus grande résistance aux rayons ultraviolets, les médecins cherchent même à diminuer son intensité chez leurs malades, soit en fragmentant les irradiations, soit en utilisant la méthode « d'irradiation perpendiculaire » de Saidman, qui consiste à orienter le malade de façon à ce que la direction des rayons incidents soit, autant que possible, perpendiculaire à la surface cutanée irradiée.

L'érythème joue cependant un rôle important au point de vue biologique, par suite de son caractère local et inoffensif, par suite aussi de sa signification.

Il constitue à cet égard la première réaction apparente de l'organisme à l'irradiation ultraviolette ; réaction de défense qui, augmentant l'épaisseur de la couche kératinisée peu transparente aux rayons ultraviolets, accroît l'opacité de la peau et, par là même, la tolérance de l'organisme à ces rayons. Premier témoignage d'une action photobiologique interne, il accuse la pénétration des radiations actives jusqu'aux couches germinative et basale de l'épiderme, et apparaît comme une manifestation locale extérieure de phénomènes généraux profonds dont l'importance biologique ou thérapeutique est grande.

La résistance de l'organisme à l'érythème indique une résistance générale ; en d'autres termes, la sensibilité cutanée à l'érythème traduit la sensibilité générale de l'organisme. C'est pourquoi les essais de sensitométrie, ceux de Saidman, en particulier, dont il a déjà été question — voir Avant-Propos — s'adressent à ce phénomène.

On sait, par ailleurs, combien il est facile et sans danger de faire apparaître à plusieurs reprises successives un érythème de premier degré sur un même individu et d'en restreindre l'étendue, puisqu'il se localise à la région irradiée. Cette localisation permet de produire l'érythème en diverses régions de la peau d'un sujet, dans des conditions (durée d'exposition, nature du rayonnement) que l'on peut faire varier à volonté. En exposant, par exemple, des régions res-

treintes et voisines d'un sujet, on se place dans des conditions de susceptibilité individuelle d'une constance exceptionnellement favorable. On peut alors étudier l'influence des différents facteurs dont on dispose. Si l'on fait varier la longueur d'onde du rayonnement excitateur, il devient possible d'examiner avec une certaine précision ce qui se passe, et de distinguer l'influence de la longueur d'onde sur le phénomène. Ainsi nous apparaissent les raisons majeures auxquelles l'érythème, bien que par lui-même sans grand intérêt biologique, doit son importance dans le problème de la dosimétrie du rayonnement ultraviolet. Grâce à sa facilité de production et de localisation, grâce, en quelque sorte, à sa maniabilité, ce phénomène va nous permettre de déterminer les facteurs d'efficacité monochromatique E_{λ} , qui le concernent, c'est-à-dire d'obtenir une « courbe spectrale d'efficacité érythémale ».

Nous allons donc essayer d'établir cette courbe, puis nous en discuterons la portée en examinant si les coefficients qu'elle nous fournit peuvent être assimilés aux coefficients « d'efficacité biologique » dont l'importance a été signalée plus haut.

V. — Détermination de la courbe d'érythème

Avant de chercher à établir une courbe spectrale d'efficacité érythémale $E_{\lambda}=f(\lambda)$ il importe de spécifier son exacte signification. Supposons que cette courbe ait été établie et qu'elle nous fournisse, par exemple :

$$E_{\lambda_1}=2 E_{\lambda_2}.$$

Cette égalité signifie que la radiation λ_1 , produit le même érythème (dans les mêmes conditions) qu'une dose deux fois plus grande de la radiation λ_2 . Or, est-on certain de l'identité biologique des deux phénomènes ?

Cette remarque soulève le problème de l'*interchangeabilité* des radiations, posé avec précision par M. Ch. Fabry (37).

« Le problème de la comparaison des « intensités biologiques » — autrement dit, des « activités » — des rayonnements, ne peut être abordé que si l'on s'impose deux restrictions : 1° dire de quelle action biologique on veut parler ; 2° ne faire entrer dans les radiations à comparer que des radiations simples, interchangeables, c'est-à-dire, qui, prises avec des intensités convenables, produisent les mêmes effets. »

Les raisons qui conduisent au choix de l'érythème ont été exposées. Il reste donc à discuter l'interchangeabilité des radiations qui le produisent. Cette question peut être envisagée de la façon suivante : les érythèmes provoqués par deux radiations de fréquences différentes, représentent-ils deux réactions qualitativement identiques de l'organisme ? Ce problème, d'ordre purement biologique, a été l'objet d'études encore peu précises dont les résultats constituent, cependant, une première base de discussion. En voici un bref exposé :

Les radiations qui produisent l'érythème couvrent un domaine spectral actuellement bien connu, limité approximativement vers 2.400 Å d'un côté, et 3.300 Å de l'autre (1). Les érythèmes qu'elles déterminent présentent, comme on a déjà vu, des caractères communs très nets :

a) Ils apparaissent, non pas aussitôt après l'exposition, mais après un certain « temps de latence ».

b) Un examen histologique de la peau (3) montre que les différentes radiations érythémales pénètrent toutes (en quantités variables) jusqu'à la couche de Malpighi. Lors de cette traversée de l'épiderme, elles attaquent et peuvent provoquer la desquamation des premières couches (cornée et granuleuse), puis intéressent les couches sous-jacentes (germinative et chorion) au sein desquelles apparaît l'érythème.

(1) Hausser a constaté la production d'érythèmes après des expositions prolongées aux radiations comprises entre 3.300 et 3.500 Å. Leur activité, de l'ordre du 1/1.000^e par rapport à celle des radiations inférieures à 3.200 Å autorise à les négliger, même dans le rayonnement solaire, et à fixer à 3.350 Å la limite de l'intervalle du côté des grandes longueurs d'onde (41).

c) L'érythème est suivi de l'apparition du pigment mélanique au niveau des cellules basales de l'épiderme.

Lorsqu'on examine d'un peu plus près les effets produits par différentes bandes spectrales, isolées par des filtres, certaines divergences apparaissent :

a) Tout d'abord le temps de latence varie quelque peu en sens inverse de la longueur d'onde. Cette variation est faible, de l'ordre d'une heure, pour les radiations extrêmes. La durée moyenne de cette période de latence est de l'ordre de 5 heures. Si on provoque l'érythème par des radiations beaucoup plus courtes (rayons X), la période de latence atteint deux ou trois semaines (40).

b) En ce qui concerne les caractères de la pigmentation, on est amené à discerner deux groupes de radiations. Celles dont la longueur d'onde est supérieure à 2.800 Å environ déterminent une pigmentation intense et persistante (il en est ainsi pour les rayons solaires), et une desquamation légère. Les radiations plus courtes, au contraire, pigmentent peu et détruisent violemment l'épiderme. Lorsqu'on expose un sujet à une lampe à mercure donnant avec une très grande intensité, la radiation de résonnance ($\lambda=2.537$ Å), on observe une abondante desquamation sans pigmentation appréciable (46).

c) Une autre divergence dont on a fréquemment signalé l'importance, est relative à l'énergie requise pour provoquer les différents degrés d'érythème (1).

Les radiations de grandes longueurs d'onde (2.800-3.350 Å) requièrent, pour faire apparaître les premières rougeurs, l'intervention d'une énergie relativement grande. Mais il suffit ensuite d'une faible augmentation de cette énergie pour élever notablement le degré de l'érythème. Les radiations plus courtes (2.400-2.800) se comportent différemment. L'énergie nécessaire pour faire apparaître l'érythème est relativement faible, mais le degré de celui-ci ne s'élève pas sensiblement lorsque l'énergie augmente dans de fortes proportions.

La figure 1, empruntée à Hausser (41), met en évidence

cette influence de la longueur d'onde sur l'énergie requise pour faire apparaître les différents degrés de l'érythème.

Cette étude conduit aux conclusions suivantes :

1° Il n'est pas possible d'envisager avec rigueur l'interchangeabilité des radiations érythémales :

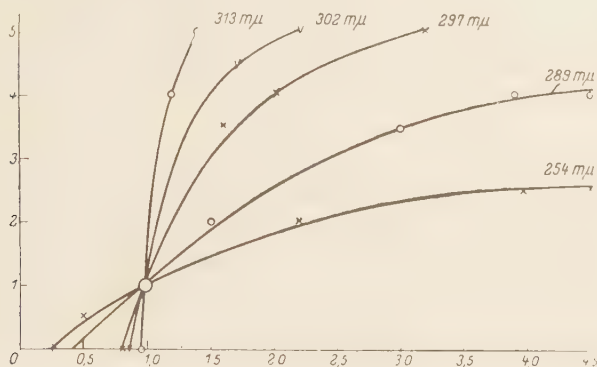


FIGURE 1.

Variations du degré d'érythème (ordonnées) produit par diverses radiations, en fonction de l'intensité monochromatique incidente (abscisses). (D'après Hausser.)

2° On peut distinguer deux domaines d'actions différentes, arbitrairement séparés aux environs de 2.800 Å, et dans lesquels les actions érythémales monochromatiques conservent des caractères suffisamment constants (étant donnée notre connaissance actuelle de la question) pour nous permettre de considérer l'interchangeabilité des radiations comme une approximation satisfaisante ;

3° Une étude spectrale plus précise des actions protobiologiques en lumière monochromatique rendrait les plus grands services.

Il est curieux de constater que la distribution des radiations érythémales en deux domaines, celui des grandes longueurs d'onde (2.800-3.350 Å) et celui des courtes longueurs d'onde (2.400-2.800 Å) se retrouve lorsque l'on étudie l'action antirachitique des radiations. Les radiations longues (à par-

tir de 2.830 Å selon Mörikoffer) produisent jusqu'à 60 p. cent de vitamine D par irradiation d'une solution d'ergosterol. Les radiations courtes créent, par irradiation d'une solution identique, la vitamine D et, en outre, une substance qui confère à la solution une certaine toxicité et tend à détruire la vitamine D formée. Ce phénomène a conduit les thérapeutes à supprimer ces radiations courtes du rayonnement de leurs lampes, par des ampoules en verres spéciaux, opaques à ces radiations.

La discussion permet maintenant d'admettre l'interchangeabilité des radiations dans les deux domaines dont la distinction vient d'être établie. Il est donc possible de construire une courbe spectrale d'efficacité érythémale dont on distinguera deux portions correspondant, chacune, à l'un de ces deux domaines.

La détermination de la courbe d'érythème a été l'objet de nombreuses tentatives récentes (72, 57, 42, 19) qui, toutes, ont été effectuées selon la même méthode : les radiations d'une source à spectre d'émission discontinu sont dispersées à l'aide d'un monochromateur aussi lumineux que possible, puis reçues séparément sur des portions contiguës de la peau d'un sujet ; on examine alors leurs activités érythémales respectives. La source utilisée est en général une lampe à vapeur de mercure dont on vérifie la stabilité au cours du fonctionnement, et dont on détermine préalablement la répartition spectrale énergétique, au moyen d'une pile thermo-électrique placée derrière la fente de sortie du monochromateur.

La détermination de l'efficacité des radiations est fondée sur une loi de réciprocité entre la durée et l'activité, analogue à celle qui s'applique approximativement au noircissement des plaques photographiques. On admet que l'effet produit ne change pas lorsque, l'activité étant doublée, la durée d'exposition est diminuée de moitié. On mesure ainsi l'activité d'une radiation par l'inverse du temps nécessaire à la production d'un érythème déterminé. On choisit, en général, le

minimum d'érythème perceptible (M. P. E.) ou « seuil d'érythème ».

Au point de vue expérimental, on dispose sur la peau non hâlée d'un sujet (face interne de l'avant-bras) un écran percé de petites ouvertures voisines et on examine, pour chaque radiation, la durée d'exposition nécessaire à l'apparition du seuil d'érythème (après le temps de latence). L'inverse de ce temps, ramené à l'unité de flux, représente l'efficacité monochromatique cherchée.

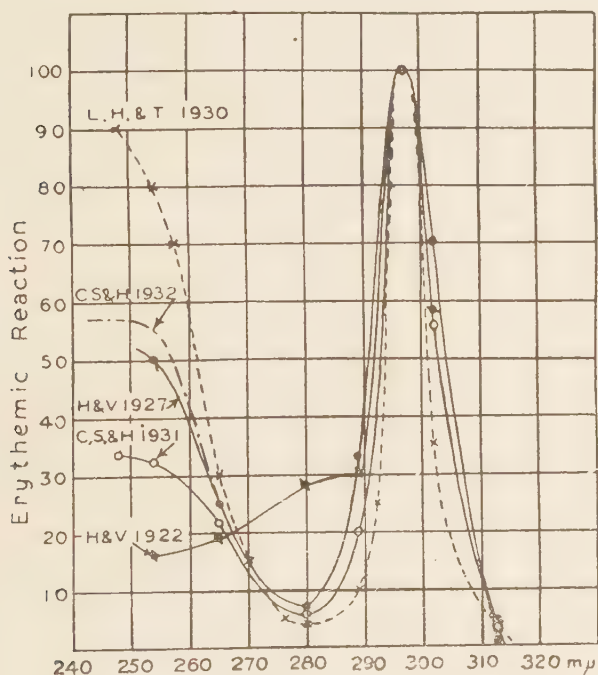


FIGURE 2.

Courbes d'érythème selon :
 H. et V. : Hausser et Vahle.
 C. S. H. : Coblenz, Stair et Hogue.
 L. H. T. : Luckiesh, Holladay et Taylor.

Les courbes ainsi déterminées, par différents auteurs, présentent, toutes, un seuil situé entre 3.100 et 3.300 Å suivi

d'une croissance rapide jusqu'à un maximum correspondant, dans le spectre du mercure, à la radiation 2.967 Å. Elles descendent ensuite une décroissance brutale suivie d'une nouvelle ascension, après passage par un minimum situé aux environs de 2.800 Å.

La figure 2, empruntée à Coblenz, montre que les différentes courbes coïncident remarquablement depuis le seuil jusque vers 2.700 Å. Ainsi, si les susceptibilités individuelles varient considérablement d'un sujet à l'autre, leurs répartitions spectrales sont les mêmes. Cette remarque confère à la courbe d'érythème un très grand intérêt. On doit signaler à ce propos qu'elle est contredite par les recherches de Saidman (72), qui, effectuées sur de nombreux malades, indiquent que les courbes de susceptibilité à l'érythème, tout en présentant les mêmes caractères, différeraient suffisamment pour réfuter l'existence de la courbe type que proposent les auteurs américains et allemands précités.

Le développement précédent était indispensable pour légitimer le choix de la courbe d'érythème et pour en définir le véritable caractère. Il permet de conclure de la façon suivante : Pour donner à la dosimétrie ultraviolette les coefficients d'efficacité monochromatique dont elle a besoin, les physiologistes ont étudié l'activité des radiations vis-à-vis de certains phénomènes biologiques, et ont obtenu une courbe d'efficacité assez bien définie, relative à l'un d'entre eux, l'érythème. Pour justifier l'existence et l'intérêt de cette courbe, il a fallu répondre à trois questions :

- a) Les différentes radiations sont-elles interchangeable ?
- b) La courbe d'érythème est-elle constante chez l'homme ?
- c) L'activité érythémale d'un rayonnement ultra-violet correspond-elle bien à son activité vis-à-vis des autres phénomènes déclenchés par ce rayonnement ?

Les réponses données à ces questions au cours des paragraphes précédents établissent le caractère *arbitraire* de la courbe d'érythème. On doit donc attribuer à celle-ci une

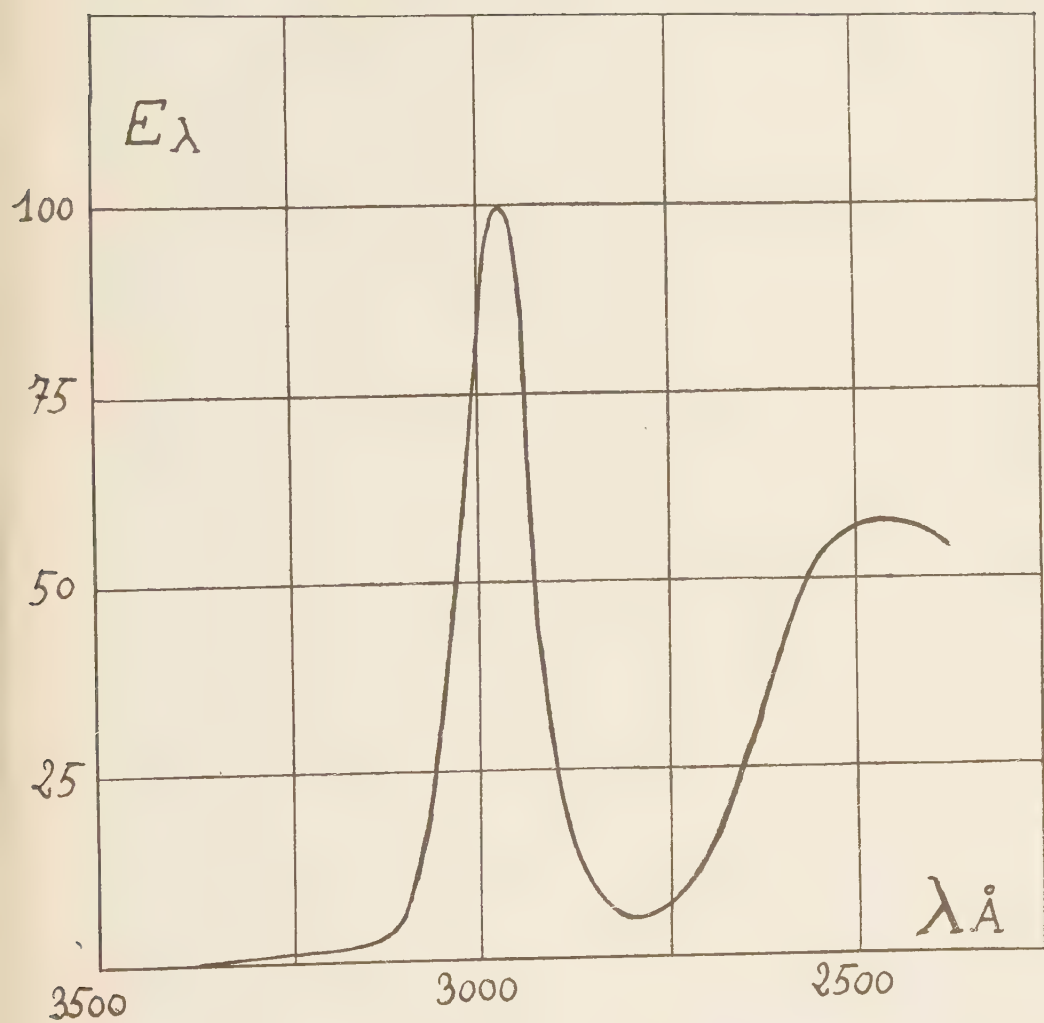


FIGURE 3
 Courbe d'érythème d'après Coblenz et Stair

signification conventionnelle, exigée par les problèmes de la dosimétrie ; *convention seulement*, susceptible de changements au cas où des données biologiques nouvelles seraient acquises ; mais *convention logique et fondée*, dominée par le souci d'attribuer aux coefficients qui s'en déduisent, un intérêt biologique suffisamment étendu.

Au cours de ce travail, j'adopterai les coefficients obtenus en 1934 par W. W. Coblentz et R. Stair (19). Leurs valeurs sont consignées dans le tableau suivant et leurs variations sont reproduites sur la figure n° 3.

TABLEAU

λ : longueur d'onde en angströms.

E : efficacité monochromatique relative.

λ	E	λ	E	λ	E	λ	E
2.400	56	2.654	25	2.894	25	3.050	33
2.446	57	2.675	20	2.900	31	3.100	11
2.482	57	2.700	14	2.925	70	3.130	3
2.500	57	2.753	7	2.950	98	3.150	1
2.537	55	2.804	6	2.967	100	3.200	0,5
2.576	49	2.850	9	3.000	83	3.250	0,5
2.600	42	2.857	10	3.022	55	3.300	0,0

Le facteur d'efficacité monochromatique étant désormais défini, il devient possible de mesurer d'une manière rationnelle les rayonnements ultraviolets utilisés en thérapeutique. Leur mesure au moyen d'un dispositif physique exige de celui-ci une sensibilité et une fidélité suffisantes. Elle exige en outre que les diverses radiations soient enregistrées suivant leur efficacité. On cherche donc, en dosimétrie ultraviolette, à trouver un appareil dont la courbe spectrale de sensibilité soit identique à la courbe d'érythème. La forme de cette courbe, et sa situation dans l'échelle des radiations, augmentent notablement la complexité du problème, par rap-

port à celle de la photométrie physique hétérochrome, problème analogue actuellement résolu. Elles soulèvent, en effet, des difficultés dont la résolution a été tentée par de nombreux artifices. Les tentatives ont abouti à la mise au point de divers procédés de mesure que l'on peut classer suivant la nature du récepteur qu'elles utilisent en :

procédés photochimiques

procédés photoélectriques

procédés thermiques.

L'étude des diverses techniques et de la précision qu'elles comportent, fait l'objet du chapitre suivant.

VI. — Unités

La possibilité de mesures implique l'existence d'un système cohérent d'unités. Il est avantageux d'adopter actuellement un système récemment proposé, fondé, lui aussi, sur la considération de la courbe d'érythème comme courbe spectrale d'efficacité monochromatique. Les définitions essentielles en sont les suivantes (58) :

FLUX ÉRYTHÉMAL. — L'unité est le E. Viton, équivalent à un flux de dix microwatts transporté par la radiation la plus active $\lambda=2.967 \text{ \AA}$.

DENSITÉ DU FLUX ÉRYTHÉMAL. — L'unité est le Finsen qui représente 1 E. Viton par centimètre carré.

Au lieu de « densité de flux érythémal », Luckiesh et Holladay ont employé l'expression vague d' « intensité » pour désigner cette grandeur, analogue à l'éclairement en photométrie.

J'adopte, ici, la désignation beaucoup plus logique proposée par M. Ch. Fabry (37). L'activité A d'un rayonnement, telle que je l'ai définie (voir p. 3), représente une densité de

flux érythémal. Je l'exprimerai donc en finsens. L'activité monochromatique A_{λ} sera évaluée en finsens par unité de longueur d'onde.

EXPOSITION. — Produit de la densité de flux par le temps d'irradiation. L'unité est le finsen-seconde.

RENDEMENT D'UNE SOURCE. — C'est le rapport du flux érythémal évalué en E. Viton au flux énergétique total exprimé en 10^{-5} watts.

CHAPITRE II

CLASSIFICATION DES PRINCIPALES METHODES DE DOSAGE ACTUELLEMENT CONNUES

I. — Dosimétrie photo-chimique

Les procédés mis en jeu sont fondés sur des réactions photochimiques que l'on peut diviser en deux groupes :

1° Les premières se traduisent par un changement de coloration dont on apprécie le degré, par comparaison avec une échelle de teintes ;

2° Dans le second cas, les réactions dues à l'action du rayonnement sont suivies et étudiées quantitativement par des dosages chimiques ou colorimétriques.

Le crédit accordé à ces procédés, pour leur simplicité, oblige à en citer un certain nombre, malgré les graves imprécisions qu'ils comportent.

PREMIER GROUPE

1° ERYTHÈME DOSIMÈTRE DE KELLER ET INTENSIMÈTRE DE SAIDMANN

Ces appareils sont fondés sur le noircissement du papier photographique. Dans le plus perfectionné d'entre eux, celui

de Saidman, une bande de papier photographique est glissée sous des fenêtres contiguës dont les absorptions différentes permettent de distinguer, par différence, les régions spectrales suivantes :

2.000-2.700 Å

2.700-3.200 Å .

3.200-3600 Å

3.600-4.600 Å

On mesure le temps nécessaire pour obtenir une même teinte derrière chaque fenêtre, d'où une appréciation de l'intensité du rayonnement dans chacune des régions spectrales.

2° ACTINOMÈTRE DE BORDIER

Cet auteur expose une bande de papier spongieux imbibé d'une solution à 20 p. cent de ferrocyanure de potassium. Le papier vire au jaune ocre, et la teinte obtenue est comparée à une échelle graduée en unités arbitraires.

3° ACTINOMÈTRE DE SAIDMAN

Cet appareil, extrêmement pratique, présente l'avantage d'enregistrer seulement les radiations comprises entre 2.500 et 3.100 Å. La substance indicatrice est le nitrate de paraphénylènediamine mis en solution et additionné d'un réducteur. Il vire au gris, puis à une teinte ardoise foncée. On compare la coloration, résultant d'une exposition au rayonnement à doser, à deux teintes fixées sur l'actinomètre et correspondant à deux doses arbitraires 1 S et 2 S. D'après l'auteur, « l'unité 1 S est l'énergie susceptible de produire une épidermite légère ; l'unité 2 S équivaut à une application provoquant un érythème du deuxième degré ». Saidman ayant décelé, lui-même, chez différents individus, des différences de susceptibilité à l'érythème allant de 1 à 400, les deux unités demeurent absolument arbitraires.

4° MÉTHODE DE J. H. CLARK (17)

Le sulfure de zinc noircit sous l'action des rayons ultraviolets de longueur d'onde inférieure à 3.500 Å. Pour enregistrer le rayonnement du soleil et du ciel à Baltimore, l'auteur a utilisé ce phénomène de la façon suivante : il prépare un sulfure étalon délayé avec quelques gouttes d'une solution saturée d'acétate de plomb ; il place la pâte obtenue entre verre et quartz et expose perpendiculairement au rayonnement la face de quartz. Avant l'exposition, la pâte a un facteur de réflexion de 70 p. 100. Ce facteur diminue par noircissement ; on mesure, en minutes, le temps nécessaire pour atteindre un facteur de réflexion de 50 p. 100. L'inverse de ce temps constitue une mesure de l'intensité du rayonnement.

L'auteur a déterminé l'équivalent énergétique de son unité (celle-ci est la quantité du rayonnement qui diminue le facteur de réflexion de 70 à 50 p. 100). Dans la région spectrale comprise entre 2.890 et 3.130 Å, l'unité correspond à 720.000 ergs/cm². Remarquons que cette méthode est la seule, parmi celles de ce groupe, qui fournisse une *mesure* et non pas une *appréciation*.

DEUXIEME GROUPE

1° DÉCOMPOSITION DE L'IODURE DE POTASSIUM

Sous l'influence des rayons ultraviolets, une solution d'iodure de potassium est décomposée. L'iode libéré est ensuite dosé par l'hyposulfite de sodium. Tel est le principe de nombreuses méthodes (Behring et Meyer, Keller, Gassul). Les auteurs ne font intervenir aucune considération d'ordre spectral.

2° MÉTHODE DE KING ET DE MAC KENZIE (48)

Sous l'influence des rayons de longueur d'onde inférieure

à 2.650 Å, le tétrachlorure de carbone est dissocié conformément à la réaction :



La réaction a lieu en présence d'une goutte de solution d'iodure de potassium. Le chlore mis en liberté déplace l'iode de l'iodure.

L'iode se dissout dans le tétrachlorure de carbone et le colore en rouge. On place dans une cuve en quartz exposée au rayonnement 2 cm³ de tétrachlorure de carbone pur, additionnés d'une goutte d'une solution aqueuse à 10 p. 100 d'iodure de potassium. La coloration rouge apparaît et on la compare à celles de solutions titrées d'iode dans le tétrachlorure de carbone.

Cette méthode n'est applicable qu'aux sources artificielles qui, seules, émettent les radiations susceptibles de déclencher cette réaction.

3° UROXAMÈTRE DE MOSS ET KNAPP

Sous l'influence des radiations ultraviolettes comprises entre 2.300 et 3.200 Å, et en présence d'acétate d'uranium, l'acide oxalique est décomposé en quantité sensiblement proportionnelle au flux énergétique incident. Après l'exposition, on dose l'acide oxalique non décomposé à l'aide d'une solution titrée de permanganate de potassium N/10.

4° MÉTHODE DE L. HILL (43)

Cette méthode est plus intéressante que les précédentes, car elle manifeste, outre une grande sensibilité, le souci de rapprocher la courbe de sensibilité spectrale du récepteur de la courbe d'érythème.

Elle utilise l'action photochimique des rayons ultraviolets sur la solution standard de Webster, ainsi constituée :

solution à 0,10 p. 100 de bleu de méthylène	5,8 cm ³
acétone pur et distillé	30 cm ³
eau distillée : Q. S. pour	100 cm ³

Sous l'action des rayons ultraviolets se produit une photolyse complète de cette solution, déterminant une production d'acide acétique. On peut imaginer une réaction du type :



L'acide formé décolore le bleu, et le degré de décoloration est évalué par comparaison avec une échelle de teintes stabilisées et étalonnées.

L'auteur a entrepris l'étude spectrale de la sensibilité, sans tenir compte, malheureusement, de la distribution spectrale énergétique de la source.

Exposé au soleil, le récepteur est insensible aux radiations de longueur d'onde supérieure à 4.200 Å. Le virage, en effet, se trouve supprimé, lorsqu'on place devant la solution d'acétone, une solution à 3 p. 100 de sulfate de quinine.

L'interposition d'une solution saturée d'urée, sous 6 cm. d'épaisseur, supprime les rayons de longueur d'onde inférieure à 3.200 Å. Le récepteur conserve une sensibilité notable vis-à-vis des radiations de longueur d'onde inférieure à 3.200, et permet au moyen de filtres une mesure différentielle de l'intensité de ces radiations dans le rayonnement d'une source thérapeutique.

5° HÉLIO-ACTINOMÈTRE DE H. BORDIER (12)

Sous l'action des rayons solaires, une solution chloroformique d'iodoforme se décompose en libérant l'iode, qui, se dissolvant dans le chloroforme, colore en violet la solution. La réaction est la suivante :



La coloration est comparée à une échelle de teintes constituée par 12 solutions chloroformiques d'iode. La concentration optima est de 1/500 (20 cg. CHI_3 dans 100 g. CHCl_3).

Cette réaction, sur laquelle aucune précision spectrale n'est fournie, est difficile à réaliser dans des conditions de rigueur parfaite. La mise en liberté d'iode, amorcée à la lumière, se poursuit, en effet, dans l'obscurité. Il importe donc de ne jamais exposer inutilement le tube à la lumière, et d'effectuer très rapidement les comparaisons colorimétriques.

6° FORMATION PHOTOCHIMIQUE DU BLEU DE MOLYBDÈNE (70)

En solution acide, et en présence d'un réducteur faible, le molybdate de sodium est réduit partiellement à la lumière, en un complexe colloïdal connu sous le nom de bleu de molybdène. La coloration intense de ce complexe permet de l'étudier colorimétriquement. L'auteur ne donne aucune précision spectrale et ne spécifie même pas si la réaction est due aux seuls rayons ultraviolets.

7° PROCÉDÉ DE O. KESTNER (47)

Cet auteur propose un procédé, comportant un dosage précis et caractérisé par une sensibilité spectrale bien étudiée. Ces deux faits rehaussent l'intérêt de ce procédé qui mérite ainsi d'être décrit avec quelques détails.

Le principe en est le suivant. Sous l'action des rayons ultraviolets, et à la faveur d'une légère alcalinité, les nitrates sont réduits en nitrites. Un dosage de la quantité de nitrite formée dans des conditions déterminées permet d'évaluer l'intensité du rayonnement reçu.

L'auteur expose perpendiculairement au rayonnement une cuve à fenêtre de quartz renfermant, sous 0,5 cm. d'épaisseur, une solution aqueuse à 5 p. 100 de nitrate de potassium additionnée de 0,5 p. 100 de soude. La réaction est irréversible et cesse avec l'exposition ; aussi, avant de doser le nitrite, peut-on laisser la solution à l'obscurité pendant un certain temps.

Un inconvénient de ce procédé réside en son extrême sen-

sibilité à la température. Aussi doit-on maintenir la cuve dans un courant d'eau froide au cours de l'exposition qui dure une dizaine de minutes.

Dosage des nitrites. — La solution est traitée par le réactif de Griess, préparé de la manière suivante : on commence par dissoudre 0 g. 2 de naphtylamine dans 20 cm³ d'eau. Après léger chauffage et filtrage, on complète à 300 cm³ par de l'acide acétique à 30 p. 100. Ce réactif fragile ne peut être conservé longtemps. Introduit dans la solution à doser, il y produit une intense coloration rouge dont on évalue le degré par comparaison à des solutions de rouge de méthyle dans l'acide sulfurique étendu (même couleur) préalablement étalonnées en molécules de nitrite par centimètre cube (au moyen de solutions titrées de nitrite de sodium, traitées par le réactif de Griess). La sensibilité extrême de la réaction de coloration permet d'apprécier une réduction par minute et par centimètre cube de l'ordre de 10^{-10} molécule-gramme.

Une détermination indirecte derrière un verre approprié montre que seules agissent les radiations de longueur d'onde inférieure à 3.320 Å.

L'auteur, pour étudier la valeur de son dosimètre au point de vue spectral, a procédé indirectement en comparant ses résultats à ceux d'une cellule photo-électrique à cathode de cadmium. La faible divergence des résultats montre que la méthode convient assez bien à la dosimétrie de l'ultraviolet biologique. Ce procédé manifeste donc un progrès appréciable par rapport à ceux qui viennent d'être indiqués.

CRITIQUES DE CES METHODES

L'utilisation d'une réaction chimique en vue de mesures photométriques suppose que plusieurs conditions se trouvent approximativement réalisées.

1° L'effet photochimique doit être proportionnel au flux lumineux incident. En d'autres termes, la loi de Grotthus-

Draper doit être satisfaite. Or, de nombreuses réactions ne suivent pas cette loi, par suite de l'influence d'autres facteurs, tel que, par exemple, les concentrations de chacun des constituants du système. A cet égard, les garanties fournies par les auteurs ne semblent pas toujours suffisantes ; certains ont même préconisé des réactions dont on a démontré les écarts vis-à-vis de la loi de Grotthus-Draper. (Telle est la réaction de décomposition de l'iodure de potassium signalée plus haut).

2° Les conditions de la réaction doivent être constantes et parfaitement déterminées. En particulier, l'absorption de la lumière ne doit pas varier au cours des mesures afin que la vitesse de la réaction demeure la même pour une intensité lumineuse donnée. Cette condition est satisfaite lorsque la solution absorbe totalement la lumière, sinon les mesures exigent des corrections. A ce sujet, les méthodes qui nécessitent pour chaque mesure le renouvellement des produits réactionnels sont bien préférables à celles qui conservent la même substance et la soumettent à une réaction réversible disparaissant après l'éclairement. On est en droit de penser que la substance intéressée ne réagit plus de la même façon après de nombreuses expositions.

3° Enfin, la sensibilité de la réaction aux diverses radiations doit être adaptée à la mesure. On se rend compte, d'après ce qui précède, que bien peu d'auteurs se sont préoccupés réellement de faire coïncider la courbe spectrale de leur récepteur avec la courbe d'érythème. Tout au plus a-t-on cherché à situer la région des radiations photogéniques entre 2.500 et 3.500 Å. La détermination exacte de la courbe spectrale d'un des systèmes photosensibles, qui viennent d'être décrits, n'a jamais été entreprise par suite des difficultés auxquelles elle se heurte. Elle exige les opérations suivantes :

Après avoir déterminé la distribution spectrale énergétique dans le spectre d'une source de raies (arc au mercure) au moyen d'une pile thermo-électrique et d'un monochromateur, il faut mesurer l'activité photochimique de chacune des raies. A cet effet, on expose un échantillon de la solution à

chacune des radiations séparées par le monochromateur, et on mesure l'intensité de la réaction produite par chaque radiation. Or, le flux monochromatique très faible, susceptible de parvenir au système chimique après traversée d'un monochromateur ordinaire, ne suffit pas, en général, à déclencher une réaction appréciable. Pour parer à cet inconvénient, il faudrait un monochromateur extrêmement lumineux, et, par suite, un prisme de quartz de très grandes dimensions.

On a construit récemment des monochromateurs très lumineux comportant deux prismes en quartz fondu de grandes dimensions. Les faces des prismes atteignent près de 20 cm. Le quartz fondu présente l'inconvénient d'absorber à partir de 2.700 Å environ. Il arrête, par exemple, la raie de résonance du mercure (6). Il serait intéressant d'utiliser un appareil de ce genre à l'étude spectrale de certaines des réactions photochimiques qui viennent d'être exposées.

II. — Dosimétrie thermo-électrique

Les récepteurs thermiques, qui mesurent l'intensité énergétique d'un faisceau de radiations après dégradation de l'énergie sous forme de chaleur, ne présentent pratiquement aucune sélectivité.

La pile thermoélectrique, ou thermopile, comparée aux autres récepteurs calorifiques, bolomètre et radiomicromètre, présente d'indéniables avantages par ses conditions d'utilisation. Toutefois, malgré des progrès récents, sa sensibilité reste faible. si on la compare à celle d'autres récepteurs, photo-électriques, par exemple, et l'utilisation de la thermopile en photométrie n'est possible que lorsque les flux à mesurer ou à comparer sont suffisamment intenses. En général, la faible intensité des courants thermoélectriques, et l'impossibilité de les amplifier avec la lampe à trois électrodes, nécessitent, pour leur mesure, des galvanomètres de haute sensibilité. En outre, comme les conditions les meilleures sont réalisées lorsque la résistance du circuit extérieur au couple est égale à celle du couple lui-même, on doit utiliser des galvanomètres, non seulement sensibles, mais peu résistants (de 10 à 50 ohms). On possède actuellement des galvanomètres à cadre mobile dont la résistance est de cet ordre, et dont la sensibilité atteint celle qui correspond à un courant de 10^{-9} ampère pour une division d'une échelle placée à un mètre. Cette sensibilité est souvent insuffisante pour certaines mesures spectrophotométriques.

On doit enfin noter parmi les difficultés rencontrées dans cette technique, la protection indispensable de la thermopile contre toute variation extérieure de température, au cours des mesures.

L'utilisation de la thermopile a été préconisée d'abord pour la mesure du rayonnement ultraviolet solaire (7, 67, 63). Pour isoler rigoureusement les radiations ultraviolettes des autres radiations, on dispose, devant la pile, une mince couche d'argent, déposée généralement par voie chimique sur un disque de quartz. L'écran ainsi constitué, totalement opaque aux rayons visibles et infrarouges, présente dans l'ultraviolet une bande de transmission avec maximum vers 3.200 Å. La pile, placée derrière, est calorifugée par un vase de Dewar, lors des expositions prolongées. Comme l'on connaît approximativement la courbe spectrale de l'émission solaire (corps noir à 6.000° K), les indications de ce dispositif, relatives à la région 3.200 Å, peuvent être extrapolées pour les radiations de longueur d'onde inférieure, et donner ainsi une estimation de l'activité érythémale du soleil. Mais cette estimation, quoique d'une précision supérieure à celle que l'on pourrait déduire d'un procédé photo-chimique, ne saurait être considérée comme rigoureuse, par suite de l'existence de phénomènes atmosphériques tels que l'absorption par l'ozone qui intéresse les radiations de courtes longueurs d'onde sans influencer notablement l'intensité des radiations voisines de 3.200 Å.

L'utilisation de la thermopile dans la dosimétrie biologique du rayonnement ultraviolet a donné lieu à diverses recherches dont les plus importantes sont celles de W. W. Coblenz et de ses collaborateurs. Elles ont abouti à la mise au point d'un procédé qui, par son exactitude et la valeur des résultats qu'il a permis d'obtenir, mérite d'être examiné avec quelques détails (20, 21, 22).

MÉTHODE DE COBLENTZ, STAIR ET HOGUE

Le principe en est le suivant :

Si on expose simultanément au rayonnement total d'une source les deux soudures d'un couple thermoélectrique dans le circuit duquel est placé un galvanomètre sensible, aucun courant ne passe dans le circuit. La déviation galvanomé-

trique est nulle. Si, alors, par interposition d'un filtre absorbant approprié, on empêche une partie du rayonnement d'atteindre l'une des soudures, l'équilibre est rompu, un courant thermoélectrique s'établit, dont l'intensité, donnée par le galvanomètre, mesure le flux énergétique absorbé par le filtre. Ainsi peut-on, au moyen de filtres adéquats, isoler telle ou telle région spectrale de la source et évaluer son importance relative dans le rayonnement total.

Pour isoler la région de l'ultraviolet thérapeutique, qu'ils limitent du côté des grandes longueurs d'onde à la radiation $\lambda=3.130 \text{ \AA}$, les auteurs disposent :

1° Devant l'une des soudures, un filtre arrêtant les radiations de longueurs d'onde inférieures à $3.130 \text{ \AA}$ (flint au baryum).

2° Devant l'autre soudure, un filtre transparent à ces radiations, et présentant vis-à-vis des autres une transmission très proche de celle du premier filtre (Clear Corex A — Verre « Corning Glass Works », N° 980).

Soit D la déviation galvanométrique alors observée. Les transmissions respectives des deux filtres sont identiques à 3 p. 100 près, pour les radiations comprises entre 3.130 et $4.000 \text{ \AA}$.

Pour examiner ensuite la différence des transmissions relatives aux radiations de longueurs d'onde supérieures à $4.000 \text{ \AA}$, les auteurs placent devant les deux soudures (déjà recouvertes de leurs filtres respectifs) un filtre Noviol A (verre Corning N° 038), transparent à ces seules radiations. Soit D' la déviation alors observée, généralement négligeable.

La déviation $D-D'$ correspond aux seules radiations de l'ultraviolet thérapeutique. Pour augmenter la sensibilité du dispositif, on expose au rayonnement les deux soudures successivement et non pas simultanément. La déviation D est alors égale à la différence positive $d-d'$ des deux déviations successivement observées. Si x représente, en microwatts par cm^2 , l'énergie provoquant une déviation galvanométrique égale à l'unité (étalonnage énergétique préalable de la pile

reliée au galvanomètre), l'apport d'énergie dû aux radiations thérapeutiques ($\lambda < 3.130$) de la source étudiée, est égal à

$$(d - d' - D') \times \text{watts/cm}^2.$$

Lors de ces mesures, les radiations infrarouges, particulièrement intenses dans le rayonnement solaire, sont arrêtées par une cuve à eau ou un bloc de quartz.

Il est intéressant de se demander quelle est la courbe spectrale de sensibilité de ce dispositif.

La mesure est effectuée au moment où l'une des soudures est recouverte du verre Clear Corex A, et l'autre, du flint au baryum. Le courant électrique observé correspond uniquement à l'exposition de la première soudure aux radiations de longueurs d'onde inférieures à 3.130 Å transmises par le Clear Corex A. Le courant correspondant aux autres radiations est, en effet, compensé, par celui de l'autre soudure montée en opposition. Tout se passe comme si le récepteur était constitué par une thermopile, non sélective, recouverte d'un verre transparent aux seules radiations de longueur d'ondes inférieures à 3.130 Å. Dans ces conditions, la courbe spectrale de sensibilité du récepteur est approximativement représentée par la courbe de transparence du verre Clear Corex A dans le domaine des radiations de longueurs d'ondes inférieures à 3.130 Å. Cette courbe ne présente aucun rapport avec la courbe d'érythème.

Pour parer à cet inconvénient et obtenir une mesure rigoureuse de l'activité érythémale de la source étudiée, il faut connaître, outre la quantité totale d'énergie ultraviolette apportée, la répartition de cette énergie dans le spectre de la source de façon à affecter à chaque radiation, dont la courbe d'érythème nous donne l'efficacité, l'énergie qu'elle apporte.

Les auteurs insistent sur ce point. Ils déterminent la répartition de l'énergie dans le spectre de la source, en dispersant ce spectre dans un monochromateur, et en mesurant directement, au moyen d'une pile thermoélectrique, l'énergie transportée pour chaque raie.

Connaissant alors :

1° La distribution spectrale énergétique de la source, ainsi déterminée.

2° Le flux total du rayonnement ultraviolet érythémal (méthode des filtres), on obtient en valeur absolue la quantité d'énergie apportée par chaque radiation. Si on multiplie cette énergie par le facteur d'efficacité érythémale, on obtient, en intégrant, le flux lumineux émis par la source dans la région érythémale, et évalué selon son intérêt thérapeutique.

Nous assistons là, pour la première fois, à une méthode rigoureuse. Elle comprend :

1° Une mesure directe très rapide (filtres) ;

2° La détermination d'une courbe énergétique spectrale, délicate et complexe ;

3° Un calcul d'intégration.

La complexité d'une telle méthode est évidente ; elle l'interdit aux médecins, mais elle permet d'effectuer des mesures dont les résultats sont précieux par leur exactitude. Coblenz et ses collaborateurs ont ainsi mesuré le flux de diverses sources (soleil, lampe à filament, arc au mercure, arc au carbone) et ont comparé les résultats avec des déterminations physiologiques directes par production du seuil d'érythème. Sans entrer dans les détails de ces comparaisons, on peut signaler qu'elles indiquent un parfait accord, ce qui était à prévoir étant donnée la rigueur du procédé utilisé.

Il convient d'indiquer qu'au cours de leur travail, les auteurs précités ont amorcé un essai de définitions rigoureuses des unités photothérapeutiques. Cet essai fut repris ultérieurement par Luckiesh et Holladay, dans le même sens. Il aboutit au système cohérent d'unités dont il a été question dans le chapitre précédent.

III. — Dosimétrie photo-électrique

Avant d'aborder l'étude des dispositifs photoélectriques proposés pour la mesure du rayonnement ultraviolet, il convient d'examiner succinctement, sans développement théorique ⁽¹⁾, les conditions suivant lesquelles on peut utiliser les cellules photoélectriques en photométrie.

Trois propriétés principales sont à la base de cette utilisation.

1° EXTRÊME SENSIBILITÉ

A ce point de vue, aucun instrument ne peut être comparé à la cellule photoélectrique. Quelques chiffres en témoignent : une cellule ordinaire à oxyde de césium, vide, présente vis-à-vis de la lumière blanche, une sensibilité de l'ordre de 10 à 50 microampères par lumen. Une même cellule, à atmosphère gazeuse, peut atteindre 200 microampères par lumen. Si on la soumet à un flux lumineux de 10^{-12} lumen, elle donnera un courant photoélectrique de 10^{-15} ampère. Or un courant de cet ordre peut être mesuré au moyen d'un électromètre ; si on l'amplifie par l'intermédiaire d'une résistance de fuite de 10^{-10} ohms, on pourra le mesurer plus facilement au moyen d'un galvanomètre.

Pour employer un langage plus explicite, supposons que la cellule précédente ayant une cathode de 20 cm² de surface, soit soumise à un éclaircissement de 1.000 lux (plein air sans soleil). Elle fournira un courant photoélectrique de 400 mi-

(¹) On trouve un exposé d'ensemble de ces questions dans une monographie de G. Déjardin parue dans la *Revue Générale de l'Electricité* (26).

croampères correspondant aux 2 lumens qu'elle reçoit, courant parfaitement mesurable au moyen d'un milliampèremètre portatif.

2° PROPORTIONNALITÉ DU COURANT PHOTOÉLECTRIQUE AU FLUX LUMINEUX INCIDENT

Cette propriété fondamentale a été établie, dès 1893, par Elster et Geitel, dans le cas du potassium dans le vide, et pour de faibles variations du flux lumineux. Le nombre d'électrons libérés, par unité de temps, est proportionnel au flux lumineux absorbé par la cathode photoémissive. En général on peut admettre que le flux absorbé est lui-même proportionnel au flux incident. On considère actuellement que la proportionnalité est à peu près rigoureuse dans un domaine étendu des intensités lumineuses, si toutefois la cellule fonctionne dans certaines conditions bien déterminées.

On suppose tout d'abord le rayonnement monochromatique, ou de constitution spectrale invariable. Si l'intensité du rayonnement varie, les intensités respectives des diverses radiations monochromatiques doivent varier dans le même rapport. Cette condition n'est pas toujours remplie. Ainsi, considérons la mesure, à différentes heures de la journée du rayonnement ultraviolet biologique solaire, au moyen d'une cellule à cathode de cadmium. Lorsque le soleil s'élève sur l'horizon, l'épaisseur atmosphérique traversée par les rayons diminue, et la proportion en radiations de l'ultraviolet extrême (3.200—2.900), très fortement absorbées par l'atmosphère, augmente, différemment pour chaque radiation suivant son coefficient d'absorption. (Voir chapitre VI).

La composition spectrale du rayonnement varie ainsi notablement dans la région de grande sensibilité de la cellule au cadmium et il ne peut être question de proportionnalité dans ces conditions.

En second lieu, on suppose invariable l'incidence des rayons sur la cathode. En particulier lors de l'enregistrement continu du rayonnement solaire, on doit faire varier l'orien-

tation de la cellule de manière à maintenir la même incidence.

Dans les cellules à vide ou « bon vide », la loi de proportionnalité est, en général, assez bien vérifiée. Il importe, toutefois, d'éviter des effets parasites, tels que l'accumulation de charges négatives sur les surfaces non conductrices de l'ampoule (verre du pied ou de la fenêtre), qui produit une distorsion du champ électrique au sein de l'ampoule. On diminue cet effet en recouvrant d'un film métallique conducteur les parois de l'ampoule, et en éloignant la fenêtre de la cathode (44). Il est *avant tout* recommandé d'utiliser des éclairagements et des tensions anodiques modérées.

Dans les cellules à gaz, la proportionnalité est, en général, moins bonne. On doit se placer assez loin de la tension d'illumination, pour laquelle se produit en l'absence de tout éclairement, une décharge lumineuse au sein du gaz inerte constituant l'atmosphère de la cellule. On admet, en général, que la tension anodique ne doit jamais dépasser une valeur inférieure de 10 volts à la tension d'illumination. Ici encore, il est avantageux d'exposer la cellule à des éclairagements modérés, et de ne pas prolonger par trop son fonctionnement. Celui-ci, en effet, s'accompagne de phénomènes parasites qui se produisent entre la surface cathodique et le gaz de l'ampoule, ou bien au sein même de la cathode, et qui déterminent des modifications de la surface, et, par là même, des caractéristiques de l'émission.

3° EXISTENCE D'UN EFFET SÉLECTIF SPECTRAL

On dit qu'un récepteur photométrique présente un effet sélectif lorsque sa réponse à un flux lumineux monochromatique donné dépend de la fréquence du rayonnement.

Ici, la réponse du récepteur, c'est-à-dire sa sensibilité, peut être caractérisée par « l'émission photoélectrique monochromatique » que l'on définit de la façon suivante : considérons le flux énergétique e_λ transporté par des radiations d'une

mince bande spectrale limitée par λ et $\lambda + \Delta\lambda$. Soit i_λ le courant photoélectrique correspondant. L'émission σ_λ est définie par l'équation :

$$i_\lambda = \sigma_\lambda \cdot e_\lambda \cdot \Delta\lambda$$

$$\text{soit } \sigma_\lambda = \frac{i_\lambda}{e_\lambda \cdot \Delta\lambda}$$

La valeur théorique maxima de l'émission correspondant au départ d'un électron par quantum lumineux absorbé, a pour valeur :

$\frac{e}{h \cdot \nu}$	e : charge de l'électron. h : Cte de Planck. ν : fréquence du rayonnement.
-------------------------	--

et le rendement photoélectrique correspondant à l'émission σ_λ est le rapport :

$$\frac{\sigma_\lambda}{\frac{e}{h \cdot \nu}}$$

Cette émission σ_λ varie avec la longueur d'onde λ du rayonnement excitateur, et on appelle courbe spectrale d'une cellule, la courbe de distribution spectrale de la sensibilité photoélectrique, c'est-à-dire la courbe de variation :

$$\sigma_\lambda = f(\lambda).$$

Ainsi défini, l'effet sélectif spectral est commun à toutes les cellules, qu'elles présentent l'effet photoélectrique dit « normal » ou l'effet photoélectrique dit « sélectif ».

(Ces désignations peuvent prêter à confusion, « l'effet normal » représentant un phénomène sélectif au même titre que « l'effet sélectif »).

a) *Dans l'effet photoélectrique normal*, l'émission croît régulièrement avec la fréquence, à partir du seuil photoélectrique dont la position exacte dépend de l'état de pureté du métal de la cathode, et, en particulier, de l'existence, à sa surface, de gaz occlus qui déplacent le seuil vers les grandes longueurs d'onde. Cet effet s'observe chez la plupart des métaux purs. Voici, pour les principaux d'entre eux, un tableau

où se trouve figuré l'intervalle dans lequel le seuil se déplace suivant le degré de dégazage de la cathode. La longueur d'onde la plus courte correspond à un dégazage très poussé :

Argent	seuil à 3.400-2.700 Å
Cadmium	seuil à 3.300-3.000
Cérium pur	seuil à 4.400
Magnésium pur	seuil à 3.400
Thorium	seuil à 3.700
Titane	seuil à 3.150
Uranium	seuil à 3.400

Notons que le rendement photoélectrique reste toujours faible, de l'ordre de quelques millièmes.

b) *Dans l'effet photoélectrique sélectif*, le courant n'est pas toujours fonction croissante de la fréquence. La courbe spectrale présente des accidents, en particulier un ou plusieurs maxima d'émission pour lesquels le rendement photoélectrique croît considérablement et peut atteindre quelques centièmes. Cet effet se rencontre chez les métaux alcalins et alcalino-terreux, soit massifs, soit disposés en couches minces sur des supports salins ou métalliques.

La situation dans le spectre, du maximum d'émission, varie considérablement suivant la nature de la cathode. Voisin de 2.800 Å pour le lithium, il est repoussé jusque vers 8.000 Å chez certaines cathodes à césium sur argent oxydé. Cette situation dépend en outre des traitements physiques et chimiques auxquels la cathode a été soumise au cours de sa fabrication.

L'existence de la sélectivité présente au point de vue photométrie deux avantages importants :

1° La diversité de situation des seuils et des maxima permet, quelle que soit la région spectrale intéressée, depuis le proche infra-rouge (12.000 Å) jusqu'à l'ultra-violet ordinaire (2.000 Å) de trouver une cellule sensible dans cette région.

2° L'allure des courbes spectrales permet d'utiliser les cellules (avec ou sans correction par des filtres) pour certaines mesures où une sélectivité particulière est requise.

De telles tentatives sont particulièrement intéressantes dans le domaine biologique. On a ainsi mis au point des récepteurs photoélectriques présentant assez exactement la même courbe spectrale que l'œil humain. A cet effet, on peut placer devant une cellule à potassium sur argent oxydé un filtre Corning 330 Signal Yellow. J'ai moi-même réalisé un « œil physique » très sensible (51) et d'une utilisation particulièrement pratique en plaçant devant une cellule à couche d'arrêt au sélénium deux verres :

Corning 396 Light Aklo ;

Wratten 8 k 2.

L'intérêt d'un tel récepteur est de substituer à l'œil uniquement capable de constater l'égalité de deux brillances ou de deux éclairéments simultanément observés, un appareil très sensible permettant de mesurer directement des rapports d'intensités.

D'autres réalisations sont encore plus intéressantes du point de vue qui nous occupe. Elles concernent les dispositifs de dosimétrie présentant la même sélectivité spectrale que la peau vis-à-vis de l'érythème. Avant d'aborder leur description détaillée, il me reste à examiner une dernière qualité indispensable à un récepteur photométrique, la stabilité.

4° LA STABILITÉ.

Si la stabilité d'un récepteur varie avec le temps, il devient impossible, à moins de contrôler ses variations, de comparer des mesures effectuées un certain temps les unes après les autres. De tels phénomènes d'instabilité, accidentels ou systématiques, brusques ou continus, se produisent chez la plupart des cellules, et constituent un obstacle à leur utilisation photométrique.

On a reproché par exemple aux cellules utilisées par les héliothérapeutes pour les déterminations relatives au rayonnement ultraviolet solaire, de manifester, au cours de leur fonctionnement, une diminution de sensibilité notable, ré-

sultant des expositions fréquentes et longuement prolongées.

Il s'agit en général d'un phénomène appelé « effet de fatigue » implicable au débit même de la cellule et fonction de ce débit. Il apparaît lorsque la cellule placée sous une tension anodique suffisante est soumise à des éclairagements intenses, et se manifeste par une diminution de la sensibilité photoélectrique accompagnée d'un déplacement du seuil photoélectrique vers les courtes longueurs d'onde.

Il ne convient pas de détailler ici les diverses causes possibles de ce phénomène qui nous obligerait à pénétrer le mécanisme intime de l'émission photoélectrique (26, 27, 10).

Il suffit de spécifier les conditions d'utilisation des cellules qui permettent de limiter ces phénomènes d'instabilité souvent obscurs et incontrôlables aux yeux des thérapeutes. D'une manière générale, on peut dire que la fidélité d'une cellule est fonction du flux lumineux auquel on la soumet, de la tension anodique, de son histoire antérieure, de sa résistance d'isolement et de la résistance que l'on place généralement en série avec elle (Fleury), soit pour faciliter la mesure du courant photoélectrique, soit pour protéger la cellule contre une décharge disruptive possible.

Avant d'utiliser une cellule neuve, il convient de la laisser vieillir un certain temps, car des modifications spontanées de la surface cathodique sont à redouter immédiatement après la fabrication. En ce qui concerne les éclairagements et la tension anodique, on doit se souvenir que la fidélité d'une cellule est d'autant plus grande que son débit est moindre. On évitera donc les éclairagements trop intenses, en les affaiblissant, s'il y a lieu, dans un rapport connu, soit en éloignant la source, soit en interposant entre la source et la cellule un filtre neutre d'opacité connue. La tension à appliquer à une cellule bon vide sera fixée, après étude préalable, à une valeur où la proportionnalité du courant au flux est respectée. Pour une cellule à atmosphère gazeuse, on évitera les tensions voisines de la tension d'illumination.

La résistance de protection placée en série avec la cellule aura une valeur de l'ordre de 500.000 ohms à 5 mégohms.

La cellule elle-même devra être aussi bien isolée que possible. Actuellement, le courant d'obscurité d'une bonne cellule placée sous tension et isolée de tout flux lumineux ne dépasse pas 10—11 ampères. On rejettera les cellules insuffisamment isolées.

Enfin on évitera de faire débiter aux cellules des courants trop intenses, en remplaçant, par exemple, lors des enregistrements de longue durée (soleil au cours d'une journée, d'une année) les mesures continues, par des mesures brèves et périodiques.

Dans ces conditions, la stabilité d'une cellule de fabrication soignée sera certainement satisfaisante. Il sera bon, toutefois, de la contrôler périodiquement.

CELLULES UTILISÉES

Dans le cas de la dosimétrie ultraviolette, un nouvel avantage s'ajoute à ceux que je viens d'attribuer aux cellules photoélectriques. L'existence du seuil photoélectrique permet, en effet, d'enregistrer les radiations de fréquences supérieures à l'exclusion des autres. Le problème délicat de la filtration des rayons ultraviolets et de l'arrêt des rayons visibles et infrarouges qui, au contraire des premiers, traversent facilement la plupart des filtres ordinaires, se trouve ainsi résolu sans difficulté.

Pour mesurer l'ultraviolet solaire, en dehors de toute considération biologique, on fait généralement appel à une cathode de sodium très sensible entre 3.000 et 4.000 Å avec un maximum vers 3.500. On peut encore utiliser un dispositif que j'ai mis au point avec G. Liandrat, analogue à ceux (déjà cités dans le chapitre de la dosimétrie thermoélectrique) qui filtrent l'ultraviolet voisin de 3,200 par un film d'argent. Nous avons placé derrière le filtre, non pas une pile thermoélectrique, mais une cellule à couche d'arrêt au sélénium dont la sensibilité, dans cette région spectrale, est encore suffisante pour permettre des lectures directes sur un galvanomètre transportable (52).

Comme je l'ai déjà fait remarquer dans le chapitre précédent, les indications de cet appareil peuvent être extrapolées pour des radiations de longueurs d'onde inférieures, puisque l'on connaît approximativement la distribution spectrale énergétique au niveau du sol (même restriction). On obtient ainsi avec une certaine précision les données relatives aux radiations de l'extrémité du spectre solaire.

Lorsqu'on cherche à doser photoélectriquement le rayonnement ultraviolet, selon la courbe spectrale d'érythème, la première condition à remplir est de trouver une cellule dont le seuil soit voisin de celui de la courbe d'érythème, c'est-à-dire situé entre 3.150 et 3.400 Å. On doit à cette raison la faveur déjà ancienne de la cellule au cadmium dont la

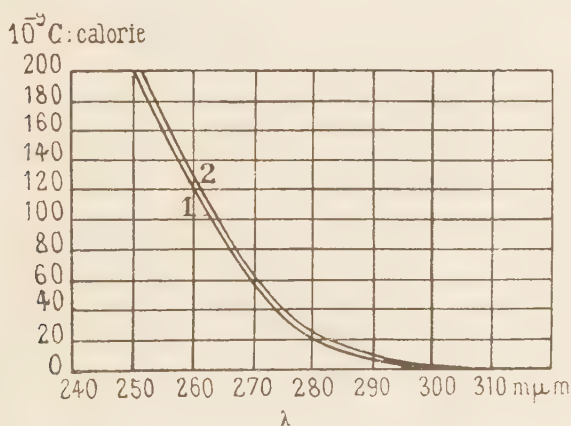


FIGURE 1.

Courbes spectrales de sensibilité de deux cellules photoélectriques à cathode de cadmium (d'après Bomke).

figure 1 donne la courbe spectrale de sensibilité dans le cas du métal pur placé dans le vide (11). Lorsque le dégazage de l'ampoule n'est pas poussé, le seuil est déplacé du côté des grandes longueurs d'onde jusque dans la région désirée.

Des études récentes (65) ont permis de découvrir de nombreux métaux susceptibles d'être utilisés eux aussi (fig. 2).

On doit citer parmi eux le tungstène, le tantale, l'aluminium, le zirconium, l'uranium, le zinc, le magnésium et le titane,

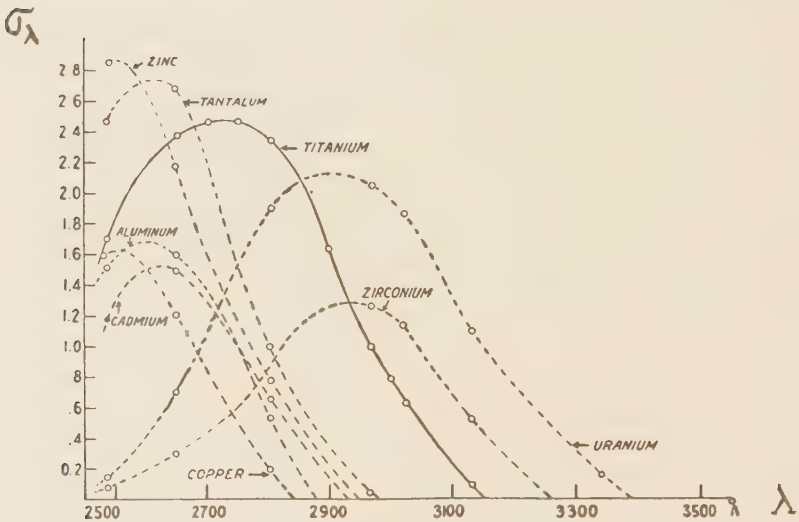


FIGURE 2.

Courbes spectrales de sensibilité de diverses cathodes photoélectriques recouvertes de verres spéciaux.

En abscisses : les longueurs d'ondes λ .

En ordonnées σ_λ : émission photoélectrique monochromatique à énergie égale (valeurs relatives).

dont les plus intéressants semblent être l'aluminium, le titane et le magnésium.

LA CELLULE AU CADMIUM

Pour que la courbe spectrale de la cellule au cadmium continuellement croissante, épouse la première boucle de la courbe d'érythème, il convient de placer devant la cathode un filtre absorbant les radiations à partir de 3.000 Å environ. Dans cette région, l'absorption bien connue de nombreux

verres commerciaux permet d'utiliser comme filtre l'enveloppe même de l'ampoule. La figure 3 indique des résultats obtenus avec différents verres (68).

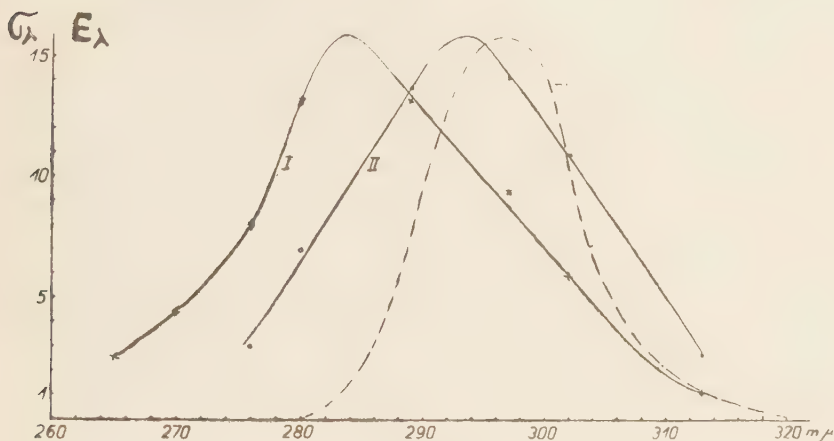


FIGURE 3.

En pointillés: Courbe d'érythème (d'après Rüttenauer).

I et II: Courbe spectrale de sensibilité de deux cellules au cadmium recouvertes d'un verre.

Elle exprime, en fonction de la longueur d'onde, la sensibilité monochromatique du récepteur constitué par une cellule au cadmium.

1° Dans une ampoule de verre : Uviol. (épaisseur 1 mm.).

2° Dans une ampoule de verre : Uviol. (Imm.) recouverte d'un verre Vita (2,5 mm.).

Comparées à la courbe d'érythème, ces courbes semblent satisfaisantes. Elles surestiment néanmoins la plupart des radiations vis-à-vis de la radiation 2.967 Å.

Le principal inconvénient de ce mode de correction de la cellule au cadmium provient de ce que la sensibilité photoélectrique varie quantitativement d'une cellule à l'autre, et qu'ainsi, l'épaisseur du verre correcteur doit être adaptée à chaque cathode. Tel verre ultraviolet de 1 mm. d'épaisseur,

adapté à telle cathode, sera insuffisant pour une cathode plus sensible. Un autre inconvénient relatif à l'utilisation des verres correcteurs provient de ce que leur exposition aux rayonnements ultraviolets en modifie la transparence. Parmi les différentes recherches effectuées à ce sujet, on peut citer celles de Dorno qui mettent en évidence l'action prépondérante des radiations courtes (33). Tandis que le rayonnement solaire semble sans action, celui d'une lampe à vapeur de mercure peut, en 20 heures, diminuer de 25 p. cent la transparence des verres vis-à-vis des radiations intéressées.

Coblentz et Stair (18) ont montré que ces variations sont imprévisibles et incontrôlables. Elles dépendent à la fois de la nature du verre et de la longueur d'onde du rayonnement excitateur. Tandis que les verres à base de soude, chaux et silice sont modifiés par les radiations 3.650-4.050 Å, les verres à base de phosphate de calcium sont sensibles aux radiations de longueur d'onde inférieure à 2.900 Å. La transparence des premiers est recouverte par une exposition à des rayons infrarouges. Cette remarque s'adresse à toutes les méthodes qui utilisent des filtres sélectifs.

Les résultats obtenus en recouvrant une cellule de filtres ne donnent pas, d'ailleurs, toute satisfaction. Voici, d'après Rüttenauer, les résultats relatifs à une autre cellule au cadmium de Gunther et Tegetmeyer, recouverte d'un verre Uviol de 1 mm. d'épaisseur (69) :

Le tableau 1 compare les valeurs relatives de son émission photoélectrique monochromatique, aux données de la courbe d'érythème d'après Hausser et Vahle. (On donne la valeur 100 au nombre affecté à la radiation la plus active). La figure 4 indique les courbes tracées à partir des données du tableau :

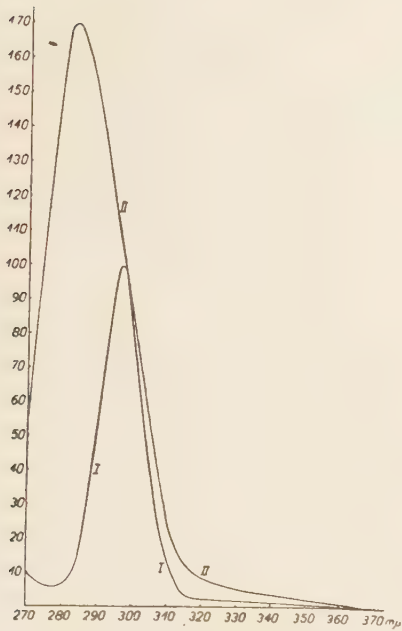


FIGURE 4.

- I. Courbe d'érythème.
 II. Courbe spectrale de sensibilité d'une cellule photoélectrique à cathode de cadmium.

TABEAU 1

λ	Emission photoélectrique monochromatique (courbe II)	Efficacité érythémale relative (courbe I)
2.500	2,6	50
2.600	18	41
2.700	55	10
2.800	160	6
2.850	176,5	18
2.900	147,5	54
2.970	100	100
3.000	83	79
3.050	53	40
3.100	24	14
3.150	12,5	3,5
3.600	0,4	0,1

Il apparaît nettement que la cellule surestime toutes les radiations vis-à-vis de la radiation 2970, ainsi n'apprécie-t-elle pas comme la peau, des variations d'intensité ou de composition spectrale du rayonnement reçu. Une divergence se produit entre sa réponse et le résultat théorique, divergence dont l'ordre de grandeur témoigne de la valeur du récepteur photoélectrique utilisé et mérite, de ce fait, d'être calculée. Cette considération a été précisée par F. Linke de la façon suivante, dans le cas du rayonnement solaire (56).

Soit i_λ l'intensité monochromatique incidence, e_λ l'efficacité monochromatique relative (ordonnée de la courbe d'érythème). Si l'on restreint au domaine spectral 2.900-3.250 les radiations intéressantes, l'activité biologique du rayonnement a pour expression :

$$E = \int_{2900}^{3250} e_\lambda \cdot i_\lambda \cdot d\lambda$$

Soient maintenant σ_λ l'émission photoélectrique monochromatique de la cellule au cadmium dans l'ampoule de verre uviole, λ_0 son seuil et λ_1 , la radiation extrême enregistrée du côté des courtes longueurs d'onde. Le courant photoélectrique total a pour expression :

$$P = \int_{\lambda_1}^{\lambda_0} \sigma_\lambda \cdot i_\lambda \cdot d\lambda$$

La valeur du récepteur dépend de la constance du rapport $\frac{E}{P}$ (défini à une constante près), lorsque i_λ varie. (L'idéal serait atteint si λ_0 et λ_1 coïncidaient respectivement avec 3.250 Å et

2.900 Å, et si le rapport $\frac{\sigma_\lambda}{e_\lambda}$ était constant). Lorsque le soleil s'élève sur l'horizon i_λ varie. Les variations correspondantes de P et de E sont consignées dans le tableau 2 dû à Chorus:

TABLEAU 2

Hauteur du soleil	E	P	$\frac{E}{P}$
90°	1.000	1.000	1
70°	822	844	0,97
50°	382	418	0,91
40°	183	212	0,86
30°	51	64	0,80
20°	4,6	8,6	0,54

Le rapport $\frac{E}{P}$ varie de 1 à 1/2. Ceci signifie que le récepteur utilisé donne des indications avec une précision de 50 p. cent. Une telle erreur de 50 p. cent peut sembler considérable. La courbe spectrale de sensibilité de la cellule au cadmium s'écarte cependant beaucoup moins de la courbe d'érythème que celles des récepteurs photochimiques. Cette remarque souligne une fois de plus le degré de précision tout à fait insuffisant que comportent les mesures photochimiques du rayonnement ultraviolet.

En dehors de ces considérations spectrales, l'utilisation de la cellule au cadmium est soumise aux conditions qui ont été énoncées à propos des phénomènes d'instabilité. Pour les contrôler, Dorno, à qui l'on doit les principaux travaux sur la cellule au cadmium, conseille à tout centre de recherches de posséder une excellente cellule de référence à laquelle on comparerait périodiquement les cellules en fonctionnement, et qui ne débiterait que le temps nécessaire à ces comparaisons (34).

AUTRES CELLULES

D'autres cathodes ont été proposées à la place de la cathode au cadmium. Leur emploi se heurte aux mêmes inconvénients.

H. C. Rentschler, auquel on doit de nombreuses recherches dans ce domaine, a préconisé l'utilisation d'une cellule à cathode d'aluminium dans une ampoule de Corex D. La courbe spectrale de sensibilité de cette cellule recouvre la région 3.200-2.800 Å (66).

On tend à employer de plus en plus la cellule au titane fabriquée par Rentschler, dont la courbe coïncide mieux encore avec la première branche de la courbe d'érythème et dont la sensibilité est grande. On peut citer déjà de nombreuses mesures effectuées avec cette cellule (60-76). Signalons celles de Coblentz et Stair (23), qui mirent sur pied un dispositif transportable, facile à manier et de grande sensibilité. Ce dispositif comprend une cellule au titane dont le courant est suffisamment amplifié pour qu'un micro-ampèremètre en donne une mesure directe. La cellule est comparée périodiquement à une cellule de référence qui ne débite que le temps strictement nécessaire à ces comparaisons.

Les auteurs insistent encore sur la correction à apporter aux indications de la cellule si l'on désire des résultats exprimés en unités absolues. Comme dans la méthode du thermocouple équilibré, cette correction nécessite une détermination préalable de la répartition de l'énergie dans le spectre de la source.

Signalons enfin la cellule photoélectrique à cathode de magnésium pur proposée par G. Déjardin et R. Schwegler (28). Caractérisée par un seuil voisin de 3.500 Å, elle conserve une excellente sensibilité dans le domaine entier des radiations érythémales. La situation du seuil, quelque peu éloignée du côté des grandes longueurs d'onde, nécessite, lors des mesures, une détermination spéciale de l'intensité des radiations comprises entre le seuil et 3.300 Å qu'un filtre convenable isole des radiations plus courtes.

Remarque. — Les cathodes précédentes enregistrent seulement les radiations correspondant à la première boucle de la courbe d'érythème (3.300-2.800 Å). Pour mesurer l'activité des radiations de longueurs d'ondes plus courtes (2.800-

2.400 Å), on a proposé récemment (79) d'utiliser une cathode de tungstène dont le seuil est voisin de 2.750 Å. Ici encore, l'enveloppe de la cellule est faite de Corex D sous une épaisseur convenable. La fenêtre est en quartz ou en verre Corex D mince.

CHAPITRE III

PRINCIPE ET REALISATION D'UN NOUVEAU DOSIMETRE

Introduction

L'exposé précédent des principales méthodes de dosage proposées jusqu'à ce jour met en évidence les difficultés auxquelles on s'est heurté dans la recherche de « l'exactitude ». Je rappelle d'abord les trois facteurs dont dépend cette exactitude :

a) Une sensibilité suffisante, généralement obtenue.

b) La constance de l'appareil. Très incertaine dans le cas des dispositifs photochimiques, elle apparaît nettement meilleure avec les cellules photoélectriques utilisées convenablement, et semble enfin réalisée très convenablement chez les récepteurs thermoélectriques.

c) L'identité entre la courbe spectrale de sensibilité de l'appareil et la courbe d'efficacité biologique monochromatique, précédemment définie. On touche ici à l'obstacle le plus redoutable, celui qu'aucune tentative n'ait encore surmonté de façon satisfaisante. Certains prétendent que l'incertitude qui s'attache à la détermination de la courbe « d'efficacité monochromatique » empêche d'attacher à sa reproduction une trop grande importance. Telle est, à mon sens, une erreur, ou, si l'on préfère, un aveu de faiblesse. Nous savons qu'une telle courbe existe, quel que soit l'effet biologique envisagé, avec des maxima très accentués qui exigent une

grande exactitude dans sa reproduction. Si nous la connaissons mal actuellement, il nous faut, d'une part, en rechercher une détermination précise et satisfaisante, œuvre de biologistes, d'autre part, en *attendant*, *convenir* d'une courbe qui permette de savoir ce que l'on mesure, nécessité première sur laquelle j'ai déjà insisté.

D'ailleurs, les auteurs ont bien saisi l'importance de ce problème de la répartition spectrale de la sensibilité ; et l'intérêt que comporte à ce sujet la courbe d'érythème est tel qu'ils ont tous, plus ou moins, cherché à la faire intervenir dans le fonctionnement de leurs dosimètres.

Certains, conscients de n'avoir pas résolu cette question, ont préféré ne pas attirer l'attention sur elle. D'autres, au contraire, ont cherché à mettre son importance en évidence, et à calculer les erreurs actuellement commises. On peut rappeler à ce sujet le calcul de Chorus (voir Chapitre II, p. 55), qui décèle des incertitudes de l'ordre de 50 p. cent dans les mesures du rayonnement solaire effectuées au moyen d'une cellule photoélectrique à cathode de cadmium recouverte de filtres, appareil cependant plus précis que les dosimètres photochimiques ; puis, la méthode utilisée par Coblenz qui, pour savoir véritablement ce qu'il mesure, est contraint de déterminer la répartition spectrale de l'énergie dans le rayonnement de la source qu'il étudie, détermination délicate et purement physique.

Ainsi apparaît l'incompatibilité qui sépare actuellement la précision de la simplicité. Trouver un appareil à la fois simple et précis, serait l'idéal. Mais pour le réaliser un jour, ne vaut-il pas mieux actuellement séparer les obstacles ? Des appareils simples, mais imprécis, nous en connaissons plusieurs ; leur intérêt est restreint. Un appareil précis, nous n'en possédons point. Nous avons la méthode de Coblenz, méthode et non pas dosimètre ; suite de déterminations, et non pas lecture directe. Trouver un appareil, de maniement même délicat, qui fournirait des indications directes et exactes, représenterait déjà un progrès indéniable. Son utilisation comporterait un double intérêt :

Confié à des physiciens, il permettrait d'effectuer avec précision les mesures requises par certains problèmes photobiologiques tels qu'en présentera la seconde partie de ce travail. Il apparaîtrait en outre comme un appareil de référence vis-à-vis des autres dosimètres. Ainsi l'étude d'un nouveau dosimètre, photochimique, par exemple, étude souvent délicate par voie directe, deviendrait aisée en comparant les données de l'appareil en question à celles de l'appareil de référence, dans des conditions déterminées d'exposition.

Devant l'insuccès partiel des tentatives antérieures, il semblait nécessaire d'abandonner les méthodes jusqu'alors exploitées et d'orienter vers de nouvelles voies une recherche nouvelle. A cet effet, il semblait avantageux d'évoquer l'analogie qui existe entre le problème à résoudre et celui, plus ancien, de la photométrie physique hétérochrome dont diverses solutions tout à fait satisfaisantes ont été données depuis longtemps. Dans les deux cas, il s'agit de réaliser un récepteur photométrique dont la courbe spectrale de sensibilité reproduise celle d'un organisme réceptif vivant ; ici, la peau humaine, vis-à-vis de l'ultraviolet ; là l'œil humain à l'égard des radiations visibles. Il était intéressant de comparer les diverses tentatives effectuées dans ces deux domaines, et de rechercher si parmi celles qui conviennent à la photométrie dans le spectre visible, certaines ne pouvaient être adaptées au domaine de l'ultraviolet biologique.

J'ai déjà exposé (Chapitre II, p. 46) certains procédés photoélectriques où la courbe spectrale d'un récepteur photoélectrique (cellule à cathode de potassium — cellule à couche d'arrêt au sélénium) est corrigée et adaptée à celle de l'œil au moyen de verres ou écrans colorés convenablement choisis. A cette méthode correspond tout à fait dans le domaine des rayons ultraviolets celle qui utilise des cellules au cadmium, au magnésium ou au titane recouvertes de filtres. Leurs principaux avantages et inconvénients ont été précédemment décrits.

Un principe entièrement différent consiste à placer devant un récepteur non sélectif (bolomètre ou thermopile) un filtre

sélectif qui laisse passer les diverses radiations selon leur activité spécifique. La courbe spectrale de transmission de ce filtre reproduit la courbe d'efficacité monochromatique considérée, en l'occurrence celle de l'œil humain. Le récepteur non sélectif respecte cette courbe ; recevant chaque radiation en quantité proportionnelle à son efficacité, il l'apprécie proportionnellement à celle-ci.

L'ensemble « filtre-récepteur » se comporte comme un récepteur présentant la sélectivité spectrale requise.

La réalisation du filtre sélectif, clef du problème, a été menée à bien de plusieurs façons :

a) On peut filtrer directement la lumière de la source par une solution colorée présentant une courbe de transmission identique à la courbe de visibilité de l'œil. Le faisceau transmis est concentré sur la fenêtre d'une pile thermo-électrique. On conçoit la réalisation d'une telle solution lorsque l'on songe à la diversité des substances colorantes. H. E. Ives et E. F. Kingsbury ont obtenu de bons résultats avec la solution suivante :

Chlorure cuivreux	61 gr. 25
Sulfate de cobalt-ammonium $(\text{SO}_4)_2\text{Co}(\text{NH}_4)_2$. . .	14 gr. 50
Chromate de potassium CrO_4K^2	1 gr. 90
Eau (Q. S. P.)	1.000 gr.

Or, la réalisation d'une solution analogue, transparente aux seules radiations du domaine spectral 3.300-2.400 Å est absolument impossible. Ce procédé ne peut donc pas être envisagé dans le domaine qui nous intéresse.

b) Un deuxième procédé consiste à séparer les radiations par un dispositif dispersif, à les affaiblir diversement par un écran convenablement disposé, puis à concentrer sur le récepteur le flux lumineux issu de l'écran. H. E. Ives a réalisé ce procédé en utilisant un spectrographe ordinaire (45). Au niveau du spectre, il dispose un écran opaque découpé suivant la courbe de visibilité de l'œil, de sorte que la hauteur des raies se trouve réduite selon des rapports inversement

proportionnels à la sensibilité de l'œil vis-à-vis de ces raies. L'écran peut être fixe ou monté sur un secteur tournant.

Cette méthode a l'inconvénient de diminuer le flux lumineux entre la source et le récepteur. La fente du spectrographe réduit d'abord l'ouverture du faisceau utilisé. Cette réduction est accentuée par l'optique de l'appareil et, surtout, par l'écran. On doit signaler la difficulté que l'on éprouve à concentrer le faisceau très large constituant le spectre, sur la fenêtre étroite d'une pile thermoélectrique.

Mais cette méthode apporte des avantages considérables. L'écran est facile à obtenir, quelle que soit sa forme. Il n'est pas de courbe, si complexe soit-elle, qui ne puisse être reproduite avec une approximation suffisante. On peut dire que l'écran est « modelable à volonté ». De plus, la région spectrale intéressée peut varier sans inconvénient pourvu qu'elle demeure dans les limites ordinairement accessibles avec un spectrographe à optique de quartz.

Ces remarques concises permettent ainsi d'engager le problème vers une voie nouvelle, et l'on doit à ce sujet, citer l'anticipation de J. Saidman qui déclarait il y a quelques années (73) : « Supposons que nous ayons un spectromètre en quartz, muni à la place de plaque photographique, d'un nombre considérable de piles thermoélectriques. Découpons un diaphragme en sorte qu'il admette pour chaque radiation une hauteur de raie proportionnelle à son activité. Si ce diaphragme est placé devant le spectre, la mesure du courant produit par l'ensemble des piles donnera, à peu de choses près, l'effet biologique pour le malade. Rien n'empêchera, si l'on possède l'appareillage, de découper pour chaque malade le diaphragme qui lui convient ».

C'est vers la réalisation d'un appareil analogue à celui de Ives que j'ai orienté mes recherches. Elles ont abouti à la construction d'un dosimètre schématiquement constitué d'un spectrographe, d'un écran sélectif et d'un récepteur approprié. Dans les paragraphes suivants j'en décrirai les détails et les caractéristiques, puis j'étudierai la précision des résultats qu'il est susceptible de fournir.

Schéma du dispositif

Le dispositif conçu sur le principe précédent, peut être schématisé de la façon suivante (fig. 1). Le rayonnement de la source à étudier S est concentré sur la fente d'un spectrographe par une lentille achromatique L. Le spectre est mis au point en un plan où se trouve placé de façon convenable un filtre F. F. Le flux lumineux traversant ce filtre tombe sur un récepteur R relié à un appareil de mesure figuré ici

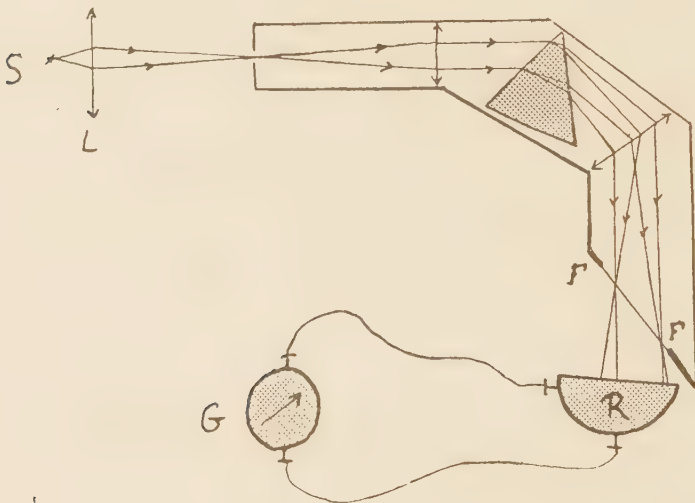


FIGURE 1.

Schéma du dispositif

S = source lumineuse ;

L = lentille achromatique ;

R = récepteur ;

G = appareil de mesure.

F.F. écran sélectif disposé sur le châssis porte-plaque du spectrographe.

par un galvanomètre G. Nous allons étudier en détails la réalisation et la mise au point de chacun des organes de ce dispositif.

La lentille est une lentille achromatique d'ouverture aussi grande que possible.

FIGURE 2.



Mise au point du spectrographe (spectre ultra-violet de mercure).

Le spectrographe ⁽¹⁾. J'ai utilisé un spectrographe ouvert dont l'organe essentiel est un prisme de Cornu de 70 millimètres de hauteur. Les deux demi-prismes qui le constituent sont simplement accolés et maintenus en place à l'aide d'un couvercle vissé.

Les deux objectifs simples de quartz sont identiques: leur diamètre atteint 70 millimètres; leur distance focale pour la radiation 3.000 Å est égale à 240 millimètres.

L'appareil comprend en outre une fente d'entrée dont la largeur est commandée par une vis solidaire d'un tambour gradué qui permet de régler l'ouverture de la fente avec une précision de $1/50^{\circ}$ de millimètre. La fente de sortie de l'appareil est disposée de façon à obtenir des raies de 10 millimètres de hauteur. Le prisme étant réglé au minimum de déviation pour la radiation 3.000 Å, la dispersion au voisinage de cette radiation atteint 36 angströms au millimètre. Le cliché ci-contre (fig. 2), pris dans les conditions ordinaires d'utilisation, montre que la mise au point est correcte dans un large domaine spectral. Malgré la grande ouverture de l'appareil, la lumière diffusée n'introduit aucune perturbation importante dans les observations.

Le récepteur

Le choix du récepteur est dominé par la recherche d'une sensibilité aussi grande et aussi constante que possible. Parmi les récepteurs non sélectifs, le premier auquel on puisse s'adresser est la thermopile. Ives l'a utilisée pour la photométrie visible. Mais le fait de travailler dans l'ultraviolet en complique singulièrement l'emploi. Les flux lumineux à mesurer sont généralement faibles. En outre, la concentration du faisceau lumineux issu du filtre, large de 4 cm. environ, sur la fenêtre de la thermopile, large de 5 millimètres, n'est

(¹) Je remercie M. Bailly, mécanicien du Laboratoire, à qui je dois la construction de ce spectrographe.

obtenue qu'au prix d'un système fortement convergent. Un tel système optique, relativement simple à réaliser pour le spectre visible, serait d'un prix de revient très élevé, s'il le fallait tailler dans du quartz. Il contribuerait en outre à diminuer l'intensité du faisceau lumineux destiné au récepteur.

On peut, sans dispositif optique particulier, concentrer le faisceau lumineux sur la pile en procédant selon la méthode utilisée par Blondel pour la photométrie visible (9), et dont le principe est le suivant :

On dispose, à la place de la plaque photographique d'un spectrographe, un verre dépoli que l'on éclaire par la source à étudier. En vertu de la loi du retour inverse des rayons, chaque bande verticale du verre dépoli donne sur la fente du collimateur une image monochromatique dont la longueur d'onde correspond à sa situation dans le spectre étalé au niveau du verre dépoli. En plaçant sur ce verre un écran découpé reproduisant la courbe de visibilité de l'œil (corrigée selon la dispersion du spectrographe), on obtient derrière la fente collimatrice un faisceau lumineux dont un récepteur non sélectif donnera une indication proportionnelle à l'intensité lumineuse de la source étudiée.

Utilisant un diffuseur en quartz finement dépoli, j'ai comparé les résultats donnés par cette méthode à ceux que fournit le dispositif ordinaire, sans diffuseur. L'absorption et la diffusion de la lumière par le quartz dépoli diminuent fortement, dans le spectrographe, l'intensité du faisceau lumineux. La sensibilité de l'appareil monté selon la technique de Blondel, comparée à celle du dispositif ordinaire (lampe à vapeur de mercure à 30 cm. de la fente) manifeste une diminution de 60 p. cent si la source est placée contre le diffuseur, et de 90 p. cent si elle est placée à 30 cm. de lui.

Ainsi, par ce procédé, la concentration du faisceau lumineux issu du spectrographe sur la fente d'une thermopile, ne peut être obtenue qu'au prix d'une diminution considérable de la sensibilité de l'appareil.

Aussi, un bolomètre de surface suffisante pour recevoir le flux tout entier, sans concentration préalable, paraît-il avan-

tageux. Monté en pont de Wheatstone, et convenablement isolé thermiquement, le bolomètre constitue un récepteur tout à fait indiqué ici. Mais sa très faible sensibilité, et les difficultés introduites par l'isolement thermique qu'il exige m'ont conduit à lui préférer, *a priori*, la cellule photoélectrique à fenêtre fluorescente que l'on peut, dans un certain domaine spectral, considérer comme un récepteur non sélectif, et dont le courant photoélectrique peut être amplifié.

Une étude rapide va nous permettre de définir dans quelles conditions une telle cellule peut convenir au problème de la photométrie ultraviolette.

La cellule photoélectrique à fenêtre fluorescente

Il semble actuellement superflu d'insister sur ce type de cellules désormais classique, imaginé par MM. J. et J. F. Thovert (77). Certains types particuliers de ces cellules ont fait l'objet d'importants travaux récents dont les principales conclusions peuvent être résumées de la façon suivante (16, 35, 36, 29) :

Si l'on dispose une substance fluorescente aux radiations ultraviolettes sur la fenêtre d'une cellule photoélectrique dont la région spectrale de grande sensibilité coïncide avec celle du rayonnement de fluorescence, on obtient un récepteur parfaitement utilisable en photométrie ultraviolette. Le cas le mieux étudié est celui du salicylate de sodium fixé au moyen d'un peu de dextrine en couche assez uniforme et solide, sur la fenêtre d'une cellule à cathode de potassium pur ou hydruré, dont la région de grande sensibilité coïncide assez bien, dans le spectre, avec la bande violette de fluorescence du salicylate de sodium.

Le choix du salicylate de sodium est légitimé par la valeur élevée que conserve le rendement de fluorescence dans un large domaine de l'ultraviolet. Les expériences de P. Dubouloz, reprises ultérieurement par G. Déjardin et R. Schwegler,

ont montré qu'entre 2.400 et 3.400 Å la fluorescence du salicylate de sodium suit les lois classiques, à savoir :

a) La composition spectrale du rayonnement de fluorescence est invariable.

b) Le rendement de luminescence, rapport de l'intensité du rayonnement de fluorescence à celle du rayonnement excitateur, est constant. Sa valeur est remarquablement élevée.

c) Le rendement quantique de fluorescence est aussi constant ; ceci signifie que l'énergie transportée par le rayonnement de fluorescence est proportionnelle au nombre de photons absorbés par la couche fluorescente. En d'autres termes, l'émission de fluorescence σ_λ provoquée par un rayonnement monochromatique de longueur d'onde λ comprise entre 2.400 et 3.400 Å est, à énergie égale, proportionnelle à λ . La courbe représentative de la variation spectrale de σ_λ à énergie égale, en fonction de la longueur d'onde λ (courbe qui représente en même temps la variation spectrale de la sen-

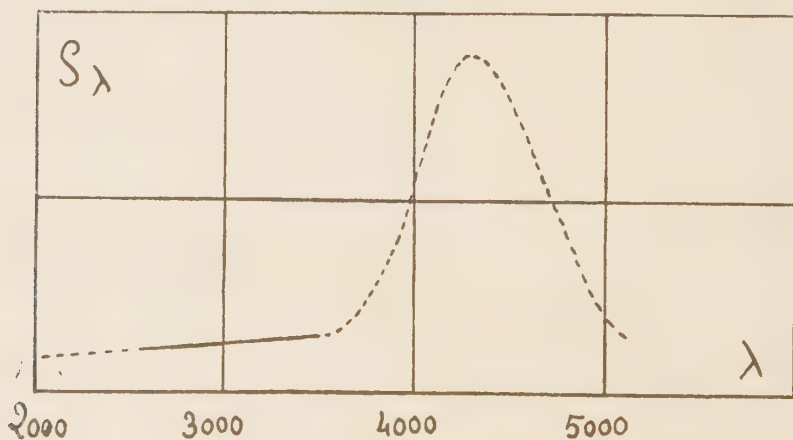


FIGURE 3.

sibilité S_λ de la cellule) est, dans l'intervalle 2.400-3.400 Å, une droite dont le prolongement passe par l'origine des longueurs d'onde (fig. 3). Cette droite est peu inclinée sur l'axe des abscisses de sorte que la cellule à fenêtre fluorescente peut être considérée, à un facteur constant près, comme un récep-

teur non sélectif. Le facteur de correction, coefficient angulaire de la droite, est aisé à connaître; sa connaissance permet de modifier le filtre sélectif placé devant la cellule, de façon à amener la droite au parallélisme avec l'axe des abscisses. Le récepteur peut être alors considéré comme rigoureusement non sélectif.

Le récepteur non sélectif ainsi constitué comporte vis-à-vis des récepteurs thermiques un double avantage. En premier lieu, il donne une sensibilité bien supérieure par suite de la possibilité d'amplifier le courant photoélectrique. En second lieu, il permet de supprimer tout dispositif de concentration du faisceau lumineux issu du spectrographe, à condition que les dimensions de la cellule soient suffisantes pour recevoir entièrement ce faisceau, et que la sensibilité soit la même en tous les points de la surface réceptrice.

Etude des cellules utilisées

Les couches fluorescentes précédemment employées étaient préparées de la manière suivante : le salicylate de sodium, finement pulvérisé, est intimement mêlé à la dextrine de façon à former une pâte que l'on dépose sur la fenêtre de la cellule en une couche aussi uniforme que possible. Par dessiccation, on obtient un enduit solide, résistant, d'apparence granuleuse, d'une épaisseur de un demi à un millimètre. Il est difficile d'obtenir une épaisseur uniforme sur la surface entière.

Malgré sa solidité, cette couche tend à se désagréger en certains points, par suite de contacts ou de chocs difficiles à éviter. Lorsque le faisceau lumineux est concentré en une tache de dimensions restreintes, l'inconvénient est de faible importance. Mais lorsque le faisceau recouvre une large surface de la fenêtre, la stabilité et l'uniformité de la couche deviennent une nécessité absolue.

C'est pourquoi j'ai procédé différemment. Sur la fenêtre de la cellule, est déposée en couche très mince une solution

diluée de gomme arabique, filtrée sur charbon. L'absorption ultraviolette d'une telle couche n'est pas appréciable. Le salicylate finement pulvérisé est projeté en nuage au moyen d'un vaporisateur. Il se dissout partiellement, puis adhère à la solution saturée formant une sorte de pâte. Par dessiccation, on obtient une couche uniforme, mince, beaucoup moins réfléchissante que la couche à la dextrine, et dont l'absorption vis-à-vis des radiations violettes de fluorescence est bien moindre. La sensibilité de la cellule se trouve augmentée ainsi de deux à cinq fois.

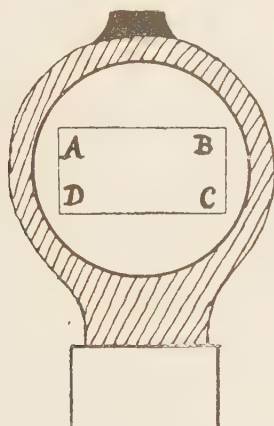
Quoique mince, la couche absorbe totalement les rayons ultraviolets, comme le met en évidence l'expérience suivante indiquée par G. Déjardin et R. Schwegler (29). Une cellule à cathode de magnésium dont le seuil photoélectrique est voisin de 3.600 Å, reçoit le rayonnement total d'une lampe à vapeur de mercure. Le courant débité par la cellule s'annule rigoureusement lorsque l'on interpose devant la fenêtre de la cellule (paroi de verre mince transparente jusque vers 2.000 Å) un disque de quartz recouvert d'une couche fluorescente analogue à celle de la cellule au potassium.

RÉPARTITION DE LA SENSIBILITÉ LE LONG DE LA SURFACE RÉCEPTRICE

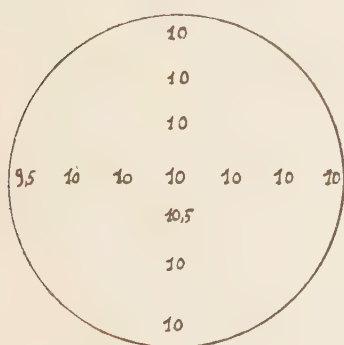
Le rayonnement de fluorescence étant diffusé par la couche fluorescente, on peut admettre que chaque point de cette couche éclaire également la cathode tout entière ; ainsi les variations inévitables de la sensibilité d'une région à l'autre de la cathode n'interviennent-elles pas. Seules peuvent apparaître les variations dues à l'absorption du rayonnement de fluorescence par la couche de salicylate elle-même.

Le faisceau lumineux issu du filtre vient recouvrir un rectangle étendu ABCD de la fenêtre (fig. 4). Il importe donc que la sensibilité soit la même en tous les points de ce rectangle. Les différents points de la surface réceptrice ont été exposés à un étroit faisceau de rayons ultraviolets issus d'une lampe à vapeur de mercure et filtrés par un verre « Red

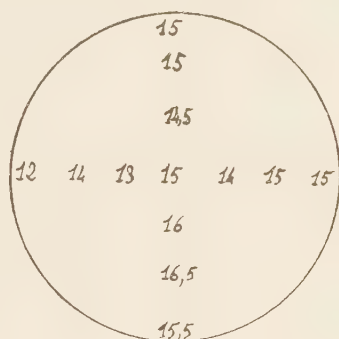
Purple Corex » de la « Corning Glass Works ». L'intensité du faisceau lumineux étant constante, les courants photoélectriques donnés par l'éclairement des différentes portions de



la fenêtre permettent une comparaison directe de leurs sensibilités respectives. La figure 5 donne en unités arbitraires les sensibilités respectives des différentes portions de la sur-



A



B

face réceptrice. La figure A correspond à une couche fluorescente préparée par pulvérisation de salicylate de sodium sur une solution de gomme. La sensibilité est constante sur

la surface entière. Au contraire, la couche préparée, par le procédé à la dextrine, présente des variations notables dues à la réflexion et à l'absorption variables du rayonnement de fluorescence par la couche elle-même. Il est bon d'indiquer que, par suite de la diffusion du rayonnement de fluorescence, les fenêtres sphériques donnent d'aussi bons résultats que les fenêtres planes.

DÉTERMINATION DU RENDEMENT DE FLUORESCENCE

Les travaux précédemment cités permettent d'admettre actuellement la constance du rendement quantique de fluorescence du salicylate de sodium entre 2.400 et 3.400 Å. L'émission photoélectrique monochromatique varie linéairement en fonction de la longueur d'onde et la droite représentative passe par l'origine des longueurs d'onde ; sa pente dépend des caractéristiques de la couche fluorescente utilisée. Il convient donc de la déterminer pour chaque cellule.

J'ai repris, pour cette détermination, la méthode exposée par Déjardin et Schwegler (29). La source est un arc George-Gallois à vapeur de mercure fonctionnant sous régime constant. Les raies les plus intenses sont successivement isolées par un monochromateur de Leiss à optique de quartz. On expose tour à tour à chacune de ces raies la cellule photoélectrique reliée à un galvanomètre sensible et résistant, puis une pile de Moll (type micro) reliée directement à un galvanomètre peu résistant (14 ohms). La sensibilité de la pile reliée à ce galvanomètre avait été préalablement déterminée par Déjardin et Schwegler. Une déviation du spot de 1 mm. sur une échelle placée à 2 m. (courant électrique de $4,3 \cdot 10^{-9}$ ampère) correspond à une énergie incidente de $0,44 \cdot 10^{-6}$ watt. En divisant chaque valeur du courant photoélectrique monochromatique par la valeur correspondante du courant de pile, on obtient les valeurs relatives de la sensibilité monochromatique σ_λ de la cellule, à énergie égale.

Les résultats relatifs à deux cellules sont consignés dans le tableau suivant :

TABLEAU 1

λ	Courant pile	Cellule 1 valeurs relatives	Cellule 2 valeurs relatives
3341 Å	5 divisions	54,5 divisions	56 divisions
3130	29	51	51
2967	9	46	45
2804	6	44	45
2537	14	40	41

La figure 6 donne dans la région 2.400-3.500 Å, les courbes spectrales de sensibilité des cellules utilisées, en l'occurrence confondues en une seule droite.

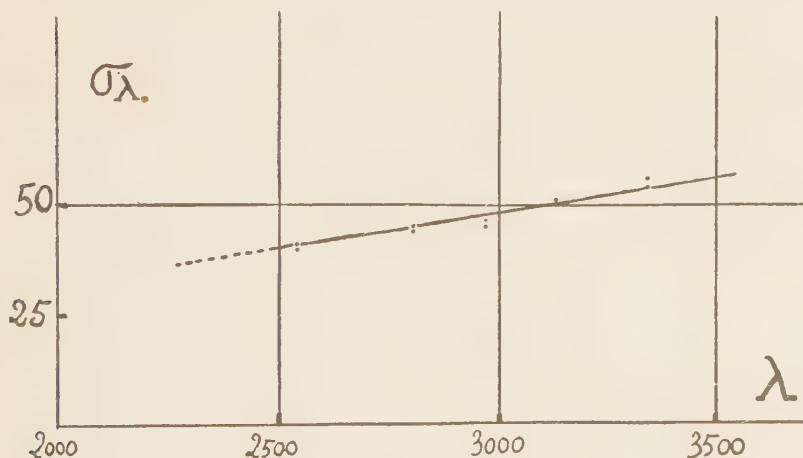


FIGURE 6.

En abscisses : les longueurs d'onde.

En ordonnées : émission monochromatique à énergie égale d'une cellule à fenêtre fluorescente (salicylate de sodium).

La similitude des couches fluorescentes déposées sur les deux cellules explique le rapprochement des pentes des deux droites. La connaissance de cette pente nous donne le facteur de correction introduit par la cellule vis-à-vis de la transmission du filtre sélectif. Comme la pente est très sensiblement la même pour toutes les couches fluorescentes

analogues, le même filtre conviendra à toutes les cellules de même type à condition que les couches fluorescentes y soient aussi semblables que possible.

On peut, dès maintenant, fixer la transmission du filtre sélectif vis-à-vis de chaque radiation. Désignons par T_λ cette transmission, définie comme le rapport de l'intensité transmise à l'intensité incidente, par E_λ le facteur d'efficacité biologique, et par σ_λ la sensibilité spectrale monochromatique, précédemment définie, de la cellule photoélectrique réceptrice. L'identité de la courbe spectrale de sensibilité du récepteur et de la courbe d'érythème s'exprime par l'égalité :

$$T_\lambda \times \sigma_\lambda = E_\lambda \cdot C^{te}$$

ou :

$$T_\lambda = \frac{E_\lambda}{\sigma_\lambda} \times C^{te}$$

Les valeurs désormais connues de E_λ et de σ_λ fournissent les valeurs qu'il convient de donner à la transmission du filtre pour chaque radiation. Ces valeurs sont consignées dans le tableau 2 où la valeur de σ_λ a été prise sur la droite relative à la cellule (2), fig. 6. La constante a été choisie de façon à donner à T_{2967} la valeur 100. Insistons une fois encore sur le fait que la transmisison monochromatique T_λ ainsi calculée convient pour toutes les cellules du même type à condition que les couches fluorescentes qui y sont déposées soient similaires.

TABLEAU 2

λ	E_λ	σ_λ	T_λ
3341	0	54,5	0
3130	3	51	2,8
3025	55	49	54
2967	100	48	100
2925	70	47	71,5
2804	6	45	6,4
2654	25	43	28
2537	55	41	64
2400	56	39	69

Le filtre sélectif

La connaissance de la transmission monochromatique relative T_λ permet maintenant d'aborder le problème de l'écran sélectif placé à la sortie du spectrographe et précisément destiné à réaliser cette transmission sélective.

Le procédé de filtration le plus simple consiste à réduire pour chaque radiation, la hauteur du spectre transmis en raison inverse du coefficient de transmission T_λ qui, lui, correspond dans le tableau 2. Il suffit, à cet effet, de placer devant la fente du spectrographe un écran convenablement découpé dans une plaque métallique opaque. Pour tracer la courbe qui, avec l'axe des abscisses, limite, sur la plaque, la portion découpée, on porte en abscisses les longueurs d'onde suivant la dispersion connue du spectrographe et en ordonnées des hauteurs proportionnelles aux valeurs de T_λ . L'ordonnée correspondant à la radiation 2.967 Å est prise égale à 10 millimètres, hauteur de la fente de sortie du spectrographe.

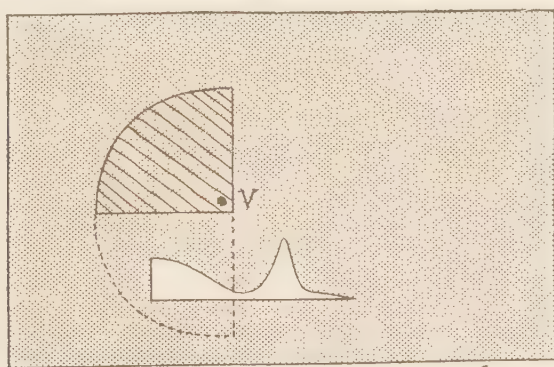


FIGURE 7.

Représentation de l'écran découpé muni de son volet mobile.

La figure 7 reproduit l'aspect de l'écran ainsi découpé dans une mince plaque de laiton. Elle montre, en outre, un volet mobile autour d'une vis V. Si l'on abaisse ce volet de

façon à occuper la position figurée en pointillés, on supprime du rayonnement transmis par le filtre les radiations comprises entre 2.400 et 2.800 Å. On peut ainsi doser séparément les radiations appartenant aux deux domaines spectraux que des considérations d'ordre biologique m'ont conduit à distinguer. La mise en place de l'écran sur le spectrographe est relativement aisée. Il suffit de le recouvrir d'une lamelle fluorescente et d'amener la raie 2.967 Å devant la hauteur maximum du découpage qui lui est destinée. Toutes les autres radiations traversent alors l'écran à l'endroit voulu.

Le circuit de mesure

Le courant électrique est mesuré au moyen d'un galvanomètre d'une résistance intérieure voisine de 100 ohms, et dont une déviation du spot de 1 millimètre sur une échelle placée à 2 mètres, correspond à un courant de $12 \cdot 10^{-10}$ ampère. En général, le courant photoélectrique est amplifié par un dispositif à un étage représenté par la figure 8. Il comprend une lampe à 3 électrodes Philips B. 406 dont la tension de chauffage a été réduite à deux volts. La résistance de grille atteint $5 \cdot 10^{10}$ ohms, valeur qui permet de donner à la résistance de fuite R une valeur de l'ordre de 10^9 ohms. J'ai utilisé une résistance de plâtre suffisamment stable, fabriquée au laboratoire par M. Thoverl.

Pour donner à la tension de grille la valeur — 0,5 volt correspondant au début de la portion rectiligne de la caractéristique de grille, on relie la grille au sol, et on établit aux bornes du filament des tensions respectivement égales à 0,5 et 2,5 volts. La tension anodique est choisie égale à 12 volts (portion rectiligne de la caractéristique de plaque). Le courant anodique donné par la lampe, lorsque la cellule n'est pas éclairée, est compensé dans le galvanomètre shunté G par la différence de potentiel $V_C - V_B$ établie aux bornes d'une résistance de 10.000 ohms.

Mais, la précision du découpage de l'écran ne dépasse pas le dixième de millimètre et l'on doit s'attendre à ce que la transmission du filtre diffère quelque peu de la transmission théorique. Il importe donc de déterminer directement le facteur de transmission monochromatique de l'écran pour un certain nombre de radiations. A cet effet, on reçoit successivement, sur une cellule photoélectrique les diverses raies émises par un arc à vapeur de mercure dûment stabilisé, dispersées par le spectrographe et successivement isolées par une fente que l'on déplace le long du châssis porte-plaque du spectrographe, fonctionnant ainsi comme monochromateur.

On note le courant photoélectrique correspondant à chaque raie. On met alors en place l'écran découpé et, isolant à nouveau chacune des raies du mercure, on note les nouvelles valeurs des courants photoélectriques obtenus.

Le rapport des deux courants, relatifs à une même raie, donne en centimètres la hauteur exacte du découpage à son niveau, c'est-à-dire le coefficient de transmission qui lui correspond. On trouve, dans ces conditions, les valeurs T_λ consignées dans le tableau suivant. Si on les multiplie par les valeurs correspondantes de σ_λ , on obtient la sensibilité monochromatique relative S_λ du dosimètre que l'on peut comparer au coefficient de la courbe d'érythème.

La figure 9 compare la courbe d'érythème à la courbe spectrale de sensibilité de l'appareil, ainsi déterminée.

Il n'est pas superflu d'insister sur l'étroit rapprochement de ces deux courbes. Il témoigne d'un progrès évident au point de vue de la répartition spectrale de la sensibilité, vis-à-vis des dispositifs antérieurement connus.

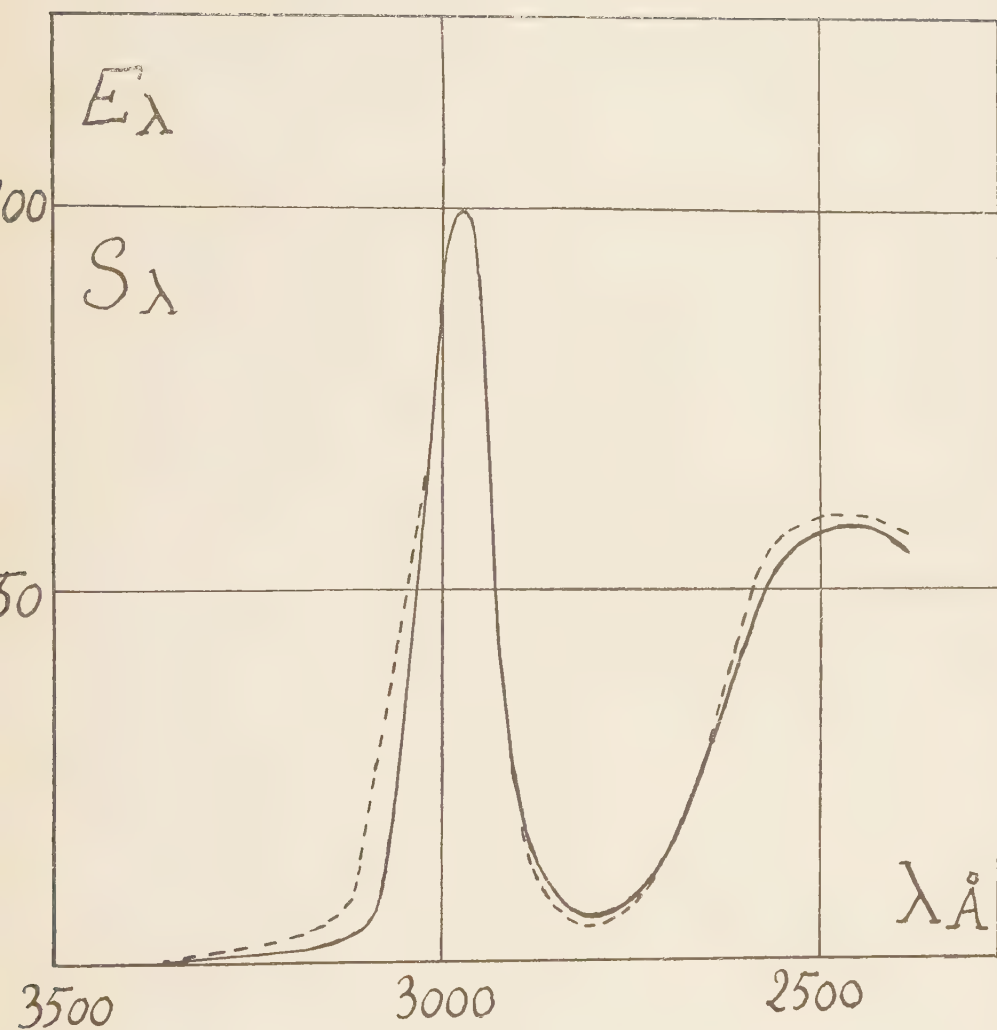


FIGURE 9.

Comparaison de la courbe spectrale de sensibilité de l'appareil (pointillés) et de la courbe d'érythème (trait plein).

TABEAU 3

λ	T_λ	σ_λ	S_λ	E_λ
3341	0	54,5	0	0
3130	0,07	51	7,4	3
3025	0,60	49	61	55
2967	1,00	48	100	100
2925	0,75	47	73	70
2804	0,06	45	5,6	6
2654	0,30	43	26	25
2537	0,67	41	57	55
2400	0,70	39	57	56

Étalonnage du récepteur en unités absolues

La coïncidence à peu près parfaite de la courbe spectrale de sensibilité de l'appareil avec la courbe d'érythème permet, non seulement de savoir ce que l'on mesure, mais aussi d'exprimer les résultats en unités absolues. Si l'on excepte la méthode des filtres de Coblenz, les différents auteurs ont toujours utilisé des unités arbitraires sans signification précise. Ces unités ne permettent aucune comparaison entre les résultats obtenus par des auteurs différents. Ici la coïncidence de la courbe spectrale de sensibilité avec la courbe d'érythème permet d'utiliser directement le système rationnel d'unités énergétiques érythémales de Luckiesh et de Holladay (58). On pourra exprimer ainsi les activités des différentes sources en densités de flux érythémaux, c'est-à-dire en Finsens.

PRINCIPE DE L'ÉTALONNAGE

Si l'on pouvait garantir la stabilité de l'appareil de mesure, il suffirait de déterminer une fois pour toutes la cons-

tante de l'appareil. Malheureusement, l'emploi d'une cellule photoélectrique, reliée à un amplificateur, nécessite un étalonnage préalable à toute série de mesures. Celui-ci est aisé si l'on procède de la façon suivante :

1° Au moyen d'une fente disposée sur le châssis porte-plaque du spectrographe, on isole une raie ultraviolette intense, 3.130 Å du mercure, par exemple. On expose successivement à cette raie une thermopile étalonnée, puis la cellule fonctionnant dans les conditions d'utilisation.

Soit d_1 la déviation galvanométrique donnée par la pile. On a déterminé au préalable le flux énergétique incident correspondant au courant thermo-électrique qui produit une déviation de une division sur l'échelle galvanométrique. Soit $n \cdot 10^{-5}$ watt ce flux.

Soit d_2 la déviation donnée par le courant photoélectrique amplifié. Le flux apporté par la raie, est égal à :

$$n \cdot d_1 \cdot 10^{-5} \text{ watts.}$$

La sensibilité du dispositif de mesure cellule-amplificateur est alors caractérisée par le fait qu'une division de l'échelle galvanométrique correspond à une énergie incidente de :

$$\frac{d_1}{d_2} n \cdot 10^{-5} \text{ watt.}$$

Connaissant n il suffit, avant chaque série de mesures, de définir d_1 et d_2 pour étalonner le circuit de mesures en unités énergétiques.

2° Il s'agit maintenant, une fois le filtre mis en place, d'exprimer les résultats en unités érythémales.

Soit T le coefficient de transmission ($T = \frac{I}{I_0}$) du système spectrographe-filtre pour la radiation : 2.967 Å. Supposons le récepteur exposé à un flux monochromatique transporté par cette seule radiation. Une déviation de une division cor-

respond à $\frac{d_1}{d_2}$ n. 10^{-5} watt, transportés par cette radiation, c'est-à-dire, à :

$$\frac{d_1}{d_2} \text{ n. E. Vitons.}$$

Comme la courbe spectrale de sensibilité de l'appareil est la même que celle sur laquelle est fondé le système d'unités, ce qui est vrai pour la radiation 2.967 Å l'est aussi pour toutes les autres.

Le récepteur exposé à un rayonnement complexe, conserve donc le même étalonnage, à savoir qu'une déviation d'une division de l'échelle galvanométrique correspond à un flux émergeant du spectrographe égal à :

$$\frac{d_1}{d_2} \text{ n. E. Vitons.}$$

Ou encore à un flux érythémal incident, mesuré au niveau de la fente d'entrée du spectrographe, de :

$$\frac{d_1 \cdot n.}{d_2 \cdot T.} \text{ E. Vitons.}$$

Soit S la surface de la fente d'entrée, exprimée en centimètres carrés. La densité de flux érythémal au niveau de cette fente, c'est-à-dire « l'activité érythémale » de la source, à ce niveau, correspondant à une déviation unité, est égale à :

$$\frac{d_1 \cdot n.}{d_2 \cdot T. S.} \text{ Finsens.}$$

La quantité $\frac{n}{T}$ est une constante de l'appareil. Sa con-

naissance exige l'étalonnage de la thermo-pile, et la détermination du coefficient de transmission du système spectrographe-filtre.

a) *Etalonnage de la thermo-pile*

Cette mesure m'a été grandement facilitée par un travail préalable de G. Déjardin et R. Schwegler (29), qui ont étalonné avec précision une pile de Moll type Micro reliée à un galvanomètre peu résistant. Il suffisait alors de comparer les indications données, dans des conditions identiques d'exposition, par cette pile et par celle, du même type, dont je disposais, reliée au galvanomètre qui lui était destiné. La sensibilité, ainsi mesurée, exprimée en 10^{-5} watt par division de l'échelle galvanométrique est :

$$n=0,03 (10^{-5} \text{ watt}).$$

b) *Transmission du système spectrographe-filtre*

Cette détermination est effectuée de la façon suivante : le rayonnement d'une lampe à vapeur de mercure est reçu par un monochromateur de Leiss à optique de quartz, qui isole, à sa sortie, la raie 2.967 Å. On mesure le flux émergent du monochromateur, au moyen d'une cellule photoélectrique, fonctionnant dans les conditions de proportionnalité du courant au flux.

Le rayonnement monochromatique ainsi isolé est alors reçu tout entier par la fente d'entrée du spectrographe, muni de son dispositif sélectif. On mesure alors de la même façon, le flux issu du système.

Le rapport des deux courants photoélectriques donne le coefficient T cherché. On a ainsi trouvé pour le système spectrographe-écran découpé : $T=1/6$.

CHAPITRE IV

EXEMPLE D'UNE MESURE VERIFICATION DE L'EXACTITUDE DE L'APPAREIL

I. — Exemple d'une mesure

Pour illustrer la description du dosimètre et le principe de son étalonnage, décrivons la manière dont une mesure doit être conduite.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse de mesurer l'activité d'une lampe à vapeur de mercure, à une distance d'irradiation normale, de 80 centimètres.

Après s'être assuré du bon fonctionnement de l'amplificateur, de la charge des diverses batteries d'accumulateurs, on place la lampe à 80 centimètres du spectrographe convenablement orienté. La distance est mesurée entre le brûleur de la lampe et la fente d'entrée du spectrographe. La première opération consiste à étalonner le dispositif de mesure.

ETALONNAGE

Au moyen d'une fente mobile disposée sur le châssis porte-plaque du spectrographe, on isole la raie 2.967 Å. Le rayonnement issu de la fente est reçu par la thermo-pile reliée à son galvanomètre. On note la déviation galvanométrique :

$$d_1 = 5,0 \text{ divisions.}$$

On remplace alors la pile par la cellule photoélectrique fonctionnant dans les conditions normales d'utilisation — en général une tension anodique faible, de l'ordre de 40 à 60 volts, fournit une sensibilité suffisante. On note la déviation galvanométrique :

$$d_2=60,0 \text{ divisions.}$$

Bien entendu, toutes les précautions sont prises pour que le fonctionnement de la lampe ne varie pas entre les deux mesures.

On enlève la fente du châssis porte-plaque, et on met en place l'écran sélectif. La constante, de l'appareil, précédemment définie, qui lui correspond, a pour valeur :

$$K=\frac{n}{T}=0,18.$$

On note l'ouverture de la fente d'entrée du spectrographe; soit 0,3 millimètre, c'est-à-dire une surface d'entrée de 0,03 centimètre carré. Dans ces conditions, l'activité correspondant à une déviation galvanométrique de une division, est donnée par l'expression :

$$C=\frac{d_1}{d^2} \frac{K}{S} = \frac{5 \times 0,18}{60 \times 0,03} = 0,5 \text{ finsens.}$$

MESURE

On mesure alors la déviation produite par le rayonnement total de la lampe. Soit, par exemple, 20 divisions.

L'activité de la lampe à une distance de 80 centimètres est égale à 10 finsens. En abaissant le volet dont le filtre est muni, on supprime les radiations comprises entre 2.400 et 2.800 Å. La lecture de la nouvelle déviation galvanométrique — soit $d=7$ — montre que : l'activité due aux radiations comprises entre 2.800 et 3.300 est égale à 3,5 finsens;

l'activité due aux radiations comprises entre 2.400 et 2.800 Å est égale à 6,5 finsens.

II. — Emploi d'une source préalablement étalonnée

Pour simplifier encore le procédé d'étalonnage, on peut utiliser une source lumineuse d'intensité constante, préalablement étalonnée en finsens au moyen de la thermopile, selon la méthode qui vient d'être décrite. La connaissance de son activité permet de déduire de la déviation galvanométrique qu'elle détermine, l'activité correspondant à une déviation de une division.

La source étalonnée la plus indiquée, est une lampe à vapeur de mercure fonctionnant dans des conditions d'alimentation bien déterminées. J'ai utilisé, à cet effet, un arc George-Gallois, alimenté par une batterie d'accumulateurs de 128 volts. Une résistance fixe, un rhéostat approprié et un ampèremètre, sont disposés en série avec l'arc. Les résistances sont réglées de façon à maintenir la tension aux bornes de l'arc à quelques volts au-dessous, de la tension normale (64 volts). Cette tension est vérifiée par un volt-mètre monté aux bornes mêmes de l'arc.

Un écran métallique percé d'une fenêtre circulaire de un centimètre de diamètre, découpe, au centre du brûleur, une plage de brillance uniforme. Il convient de remarquer que ces dispositions correspondent tout à fait à celles prises par Coblentz et Stair dans un but analogue (24).

D'après ces auteurs, elles confèrent à l'arc une émission d'intensité constante pendant une vingtaine d'heures. Comme l'étalonnage du dosimètre, par ce procédé, demande environ dix minutes, on pourra effectuer plus de cent séries de mesures avant d'étalonner à nouveau, par le procédé thermo-électrique, cette source de référence.

III. — Exactitude du dosimètre

Si la source examinée est une lampe à vapeur de mercure, un moyen précis d'évaluer son activité consiste à mesurer l'énergie transportée par chacune des radiations comprises entre 2.399 et 3.350 Å, de les exprimer en finsens, puis d'en faire la somme. Il suffit alors de comparer le résultat obtenu à celui que le dosimètre fournit par une lecture directe.

Une semblable vérification a été effectuée au moyen d'une lampe Philips Biosol dont la notice fournie par le constructeur donne précisément en valeur absolue, pour chacune des raies émises, la densité de flux monochromatique à 50 centimètres du brûleur. Si on multiplie ces densités, exprimées en 10^{-5} watts par centimètre carré, par les coefficients d'efficacité érythémale monochromatique, on obtient, exprimées en Finsens, les activités monochromatiques qu'il suffit d'additionner. Voici, résumés en un tableau, les résultats ainsi obtenus :

λ	E_{λ}	Densité de flux mono- chromatique en 10^{-5} watts/cm ²	Activité monochroma- tique en Finsens
3.342	0	16,8	0
3.130	0,03	134,4	4
3.022	0,55	58,8	32,3
2.967	1	28	28
2.894	0,25	11,2	2,8
2.804	0,06	19,6	1,2
2.753	0,07	5,6	0,4
2.700	0,14	8,4	1,2
2.652	0,25	36,4	9,1
2.537	0,55	50,4	27,7
2.483	0,57	16,8	9,6
2.399	0,56	8,4	4,7

- 1° Activité du rayonnement total 121,2 finsens
- 2° Activité de la région 3.300-2.800 68,3 finsens
- 3° Activité de la région 2.800-2.399 52,9 finsens

$$r_1 = \frac{(2)}{(1)} = 0,56$$

$$r_2 = \frac{(2)}{(3)} = 1,29$$

Or, les mesures directement effectuées au moyen du dosimètre ont fourni les résultats suivants :

- 1° 115 finsens
- 2° 64 finsens
- 3° 51 finsens

$$r_1 = 0,56$$

$$r_2 = 1,25$$

La concordance est tout à fait satisfaisante.

CHAPITRE V

APPLICATIONS DU DOSIMETRE A L'ETUDE DES SOURCES ARTIFICIELLES UTILISEES EN THERAPEUTIQUE

Les deux qualités essentielles que doit posséder une source de radiations ultraviolettes pour être utilisée en thérapeutique, sont :

- La simplicité de son emploi ;
- La richesse de son rayonnement en radiations actives.

C'est pourquoi l'on a très rarement employé la lampe à filament incandescent, trop pauvre en radiations ultraviolettes, et l'étincelle entre électrodes métalliques dont la richesse en radiations actives ne compense pas les difficultés de son maniement.

Les premiers actinothérapeutes ont fait appel au rayonnement intense de l'arc électrique. Finsen, en 1895, utilisa d'abord l'arc entre électrodes de charbon dont, disait-il, la lumière approche, par sa composition spectrale, celle du soleil.

Puis, lorsque fut reconnue l'importance particulière des radiations voisines de $3.000 \text{ \AA}$, on remplaça les électrodes de charbon par des électrodes métalliques, de fer ou de tungstène, par exemple, qui permettent d'obtenir une activité thérapeutique supérieure.

Afin de diminuer le plus possible la durée des irradiations, on chercha à multiplier le nombre des raies émises par l'arc dans le domaine spectral $3.350\text{-}2.400 \text{ \AA}$ en superposant les spectres de raies de plusieurs métaux. Ainsi naquirent les

arcs polymétalliques actuellement employés, dont les électrodes sont à base de divers métaux tels que aluminium, baryum, calcium, potassium, manganèse, étain, fer et titane.

LA LAMPE A VAPEUR DE MERCURE

La source artificielle la plus couramment utilisée est la lampe à vapeur de mercure. Elle consiste essentiellement en une enveloppe transparente, appelée communément brûleur, à l'intérieur de laquelle jaillit un arc électrique entre électrodes métalliques, dans une atmosphère de vapeur de mercure. En général, les deux électrodes sont constituées par une certaine masse de mercure liquide qui, partiellement vaporisée par le passage de l'arc, remplit le brûleur de vapeur métallique. Parfois les deux électrodes sont d'un autre métal ; le brûleur contient alors une faible quantité de mercure que l'arc vaporise totalement ou non. Le succès de ces lampes doit être attribué à leur extrême maniabilité, à la richesse particulière de leur rayonnement en radiations actives très intenses, et enfin à leur prix de revient relativement peu élevé.

Il est assez remarquable de constater combien les divers types de lampes actuellement connus se différencient les uns des autres par le principe même de leur construction, et par les conditions de leur fonctionnement. Cette diversité entraîne des variations importantes des caractéristiques de l'émission et, par suite, de l'activité thérapeutique. Aussi est-il intéressant de comparer, à ce dernier point de vue, différents types de lampes particulièrement distincts les uns des autres.

Pour chaque lampe on mesurera l'activité érythémale totale à une distance de 80 cm. du brûleur, et l'on distinguera la part de cette activité qui revient à chacune des régions spectrales 3.350-2.800 Å et 2.800-2.400 Å que les différences d'action biologique ont conduit à considérer séparément (voir chapitre I^{er}).

On calculera alors les deux rapports :

$$r_1 : \frac{\text{Activité due aux radiations } 3.350\text{-}2.800 \text{ \AA}}{\text{Activité totale}}$$

$$r_2 : \frac{\text{Activité due aux radiations } 3.350\text{-}2.800 \text{ \AA}}{\text{Activité due aux radiations } 2.800\text{-}2.400 \text{ \AA}}$$

Les valeurs de ces rapports témoigneront de la valeur antirachitique de la source étudiée.

I. — Comparaison de diverses lampes à vapeur de mercure

On peut distinguer deux grandes catégories de lampes à vapeur de mercure :

1° Les lampes dites « haute pression-basse tension » dont les caractéristiques sont les suivantes :

- tension aux bornes de l'ordre de 100 volts ;
- intensité du courant électrique traversant l'arc : quelques ampères ;
- pression à l'intérieur du brûleur, en plein fonctionnement : de 1/10 à 1 atmosphère ;
- température du brûleur : plusieurs centaines de degrés.

2° Les lampes dites « basse pression-haute tension » pour lesquelles :

— La tension aux bornes nécessaires à l'allumage atteint plusieurs milliers de volts, puis s'abaisse, au cours du fonctionnement, jusqu'à une valeur de l'ordre de 1.000 volts qui dépend de la longueur du tube, de la nature des électrodes, etc., etc.

— Le courant électrique est de l'ordre de quelques dizaines de milliampères.

— La pression à l'intérieur du brûleur est de l'ordre du centimètre de mercure.

— La température du brûleur n'atteint pas 100 degrés.

On verra qu'aux sources des deux catégories correspondent des caractères essentiellement différents de l'émission lumineuse.

1° Lampes « haute pression-basse tension »

a) ARC GEORGE

Il s'agit d'un arc à allumage automatique alimenté par le courant continu. Ici cet arc est étudié sous le régime suivant :

Tension aux bornes : 64 volts

Courant : 3,6 ampères

Puissance consommée : 230 watts.

On trouve, dans ces conditions :

Activité totale 31 finsens

Activité des radiations 3.350-2.800 Å . 15,5 finsens

Activité des radiations 2.800-2.400 Å . 15,5 finsens

$r_1=0,5$.

$r_2=1$.

La comparaison de ces résultats avec ceux qui suivent montre tout d'abord la valeur élevée de l'activité. Elle semble indiquer en outre qu'un arc alimenté par le courant continu est nettement plus actif qu'un arc fonctionnant sous le même régime sur du courant alternatif.

On notera la part égale prise par les deux régions spectrales.

b) ARC GALLOIS

Il s'agit de deux modèles analogues, l'un ancien, l'autre récent. Tous deux fonctionnent sur courant alternatif avec une tension aux bornes de 140 volts. La puissance consommée est voisine de 300 watts.

Ancien modèle (modèle K):

A. totale 3 finsens

A. 3.350-2.800 Å 0,9 finsens

A. 2.800-2.400 Å 2,1 finsens

$r_1=0,3$,

$r_2=0,43$.

Modèle récent (type R P) :

A. total	6,2 finsens
A. 3.350-2.800 Å	3,1 finsens
A. 2.800-2.400 Å	3,1 finsens

$$r_1=0,5,$$

$$r_2=1.$$

On constate que le modèle récent présente sur le modèle ancien une double amélioration. D'abord, l'activité est deux fois plus grande. Ensuite les rendements sont plus élevés. Ils atteignent la même valeur que ceux de l'arc George (a). Mais l'activité est cinq fois moindre que celle de cet arc qui, pourtant, consomme deux fois moins. On distingue ainsi l'avantage du courant continu.

c) ARC POLARIMÉTRIQUE BRÛHAT (LAMPE GALLOIS TYPE H B₁)

Cet arc destiné tout d'abord à des mesures physiques est construit de façon à concentrer le faisceau lumineux sur une plage de faible étendue et de grande brillance. Il fonctionne sur courant continu et consomme 200 watts environ.

Le dosimètre fournit les résultats suivants :

A. total	36 finsens
A. 3.350-2.800 Å	18 finsens
A. 2.800-2.400 Å	18 finsens

$$r_1=0,5,$$

$$r_2=1.$$

On remarque la valeur élevée de l'activité. On la doit, d'une part, au courant continu d'alimentation, d'autre part au dispositif de concentration des rayons.

Il est intéressant de comparer ces résultats à ceux que l'on peut déduire d'une étude antérieure de G. Déjardin et R. Schwegler (30), relative à la même lampe. Ces auteurs ont mesuré, au moyen d'une cellule photoélectrique à fenêtre fluorescente placée derrière un monochromateur double, l'intensité relative de chacune des raies émises par la lampe. De

ces valeurs relatives, on peut déduire les deux rendements r_1 et r_2 ; on trouve alors :

$$r_1=0,54,$$

$$r_2=1,1,$$

résultat tout à fait conforme à celui qu'ont donné les lectures dosimétriques.

d) LAMPE PHILIPS BIOSOL

Cette lampe, dont il a été question au précédent chapitre, est caractérisée par une puissance particulièrement élevée. En plein fonctionnement, le voltage aux bornes atteint 240 volts, et l'intensité du courant alternatif qui la traverse est de 10 ampères.

Le brûleur est un tube rectiligne qui contient quelques centigrammes de mercure et de l'argon sous une pression de l'ordre du centimètre de mercure. Les deux électrodes sont recouvertes d'un dépôt à base d'oxydes alcalino-terreux qui favorise l'allumage automatique. La lampe est enfin munie d'un grand réflecteur destiné aux irradiations générales.

Il n'est pas étonnant qu'une lampe aussi poussée manifeste une activité particulière. Les mesures, déjà effectuées à une distance de 50 centimètres, ont été reprises à 80 centimètres, et ont donné les résultats suivants que l'on peut comparer à ceux fournis par les autres lampes étudiées :

A. total 88 finsens

A. 3.350-2.800 Å 48 finsens

A. 2.800-2.400 Å 40 finsens

$$r_1=0,55,$$

$$r_2=1,2.$$

On remarquera les valeurs particulièrement élevées de l'activité et des rendements.

e) AUTRES RÉSULTATS

On peut signaler ici des mesures de répartition spectrale énergétique effectuées par d'autres auteurs sur des lampes

analogues, mesures qui permettent de calculer les valeurs des rapports r_1 et r_2 correspondant à chaque source. Les résultats ainsi obtenus concordent bien avec ceux que fournissent les mesures précédentes.

D'après Barnes (5) :

pour un arc fonctionnant sous 174 volts et 3,75 ampères :

$$r_1=0,61,$$

$$r_2=1,5 ;$$

pour un arc fonctionnant sous 75 volts et 3,75 ampères :

$$r_1=0,61,$$

$$r_2=1,6.$$

D'après Maddock (59) un arc moins poussé fournit les rendements suivants :

$$r_1=0,51,$$

$$r_2=1,06.$$

2° Lampes « basse pression-haute tension »

a) ARC GALLOIS

La lampe est essentiellement constituée par un tube de silice fondue ayant un diamètre intérieur d'environ 1,5 millimètre, contenant quelques centigrammes de mercure et un mélange d'argon et de néon sous une pression de l'ordre du centimètre de mercure. Les électrodes sont en nickel.

La lampe, munie d'une transformateur, est alimenté par du courant alternatif 110 volts. En fonctionnement, la tension aux bornes atteint 1.500 volts, l'intensité du courant 75 milliampères correspondant à une consommation de l'ordre de 100 watts. La température du tube reste inférieure à 80 degrés. Les mesures effectuées sur cette lampe indiquent une activité totale très faible, inférieure à un finsen. L'activité perceptible est due presque entièrement à la raie de résonance qui est émise avec une intensité relative largement prédominante.

b) Pour obtenir plus de précision sur ces lampes de faible activité, on peut se reporter à des déterminations de leur distribution spectrale énergétique. Un arc tout à fait analogue au précédent a été étudié par G. Déjardin et R. Schwegler (31). Ces auteurs ont déterminé les valeurs relatives de l'intensité monochromatique de chaque raie, au moyen desquelles on peut calculer, sinon l'activité, tout au moins les rendements.

On trouve :

$$r_1=0,09,$$

$$r_2=0,1.$$

D'après Barnes (5) on trouve, pour un arc analogue :

$$r_1=0,14,$$

$$r_2=0,16.$$

Maddock (59) donne en valeur absolue les intensités monochromatiques à un mètre de la lampe. On peut alors calculer les rendements et l'activité, comme l'indique le tableau suivant :

λ	Densité de Flux (en micro-watts/cm ²)	Activité (en Finsens)
3.130	0,71	0,0002
3.022	0,07	0,004
2.967	0,22	0,02
2.894	0,05	0,001
2.804	0,02	—
2.753	0,03	—
2.652	0,07	0,002
2.537	12,00	0,66
2.482	0,03	0,002
2.399	0,01	0,001

A. total 0,69 finsen

A. 3.350-2.800 Å 0,025 finsen

A. 2.800-2.400 Å 0,665 finsen

$$r_1=4/100,$$

$$r_2=4/100.$$

Remarque. — L'auteur indique pour l'émission de la radiation de résonance une valeur assez surprenante dix fois supérieure à celle qui est indiquée ci-dessus, et qui ne coïncide pas avec les données des autres auteurs. J'ai aussi pensé que le texte de Maddock comportait une erreur d'impression, et j'ai adopté la valeur dix fois moindre, beaucoup plus plausible.

En accord avec la mesure effectuée sur l'arc Gallois, ces résultats montrent l'influence quasi exclusive de la radiation de résonance du mercure ; le flux qu'elle transporte représente en effet plus des 99 centièmes du flux érythémal total, de sorte que les propriétés biologiques de l'arc représentent, à peu de choses près, celles de la radiation de résonance. On peut les rappeler schématiquement de la façon suivante :

effets destructeurs intenses vis-à-vis des microorganismes.

effet destructeur vis-à-vis de la vitamine D que les radiations de longueur d'onde supérieures à 2.800 Å concourent, au contraire, à élaborer.

pas d'effet pigmentaire.

activité érythémale intense.

CONCLUSIONS

Les résultats précédents nous permettent d'énoncer les conclusions suivantes :

Les lampes du type « basse pression-haute tension » apparaissent comme des sources dangereuses et peu intéressantes au point de vue thérapeutique. Peu intéressantes parce que dénuées de toute activité antirachitique. Dangereuses car le faible éclat ainsi que la basse température du brûleur lui confèrent une apparence inoffensive tout à fait trompeuse. La lampe froide doit ainsi trouver ses applications dans deux domaines : en physique comme source de rayons ultraviolets, en biologie comme agent de stérilisation. Mais en thérapeutique, elle doit s'effacer totalement et céder la place à l'autre

type de lampe dont les propriétés nous sont apparues très différentes.

Chez elle, les deux régions spectrales que j'ai distinguées présentent approximativement la même activité ($r_2=1$), avec une légère prédominance pour la région des grandes longueurs d'onde chez les modèles récents. La valeur maxima du rapport r_2 , égale à 1,6, correspondant à l'arc cité par Barnes. Parmi ceux que j'ai étudiés, l'arc Philips Biosol présente le rapport r_2 le plus élevé, soit 1,2.

De plus, l'activité totale de ces lampes est très supérieure à celle des lampes basse pression. Encore un peu faible chez certaines, elle atteint aisément plusieurs dizaines de finsens chez les lampes alimentées par du courant continu et les lampes de grande puissance. Si l'on note que l'activité du soleil mesurée un jour d'été, à midi, en une station située à 1.000 mètres d'altitude, est de l'ordre de 2 à 3 finsens (50), les activités dix fois supérieures (20 à 30 finsens) couramment obtenues apparaissent largement suffisantes pour les applications thérapeutiques. Les appareils de puissance élevée donnant des activités supérieures à 50 finsens présentent l'avantage d'abréger les expositions, mais ils exigent, plus que les autres, une dosimétrie précise ; et l'on doit attirer l'attention des médecins sur les dangers que comporte l'utilisation de sources très intenses non contrôlées.

II. — Filtration du rayonnement des sources artificielles

Pour éviter l'action peu favorable des radiations de courtes longueurs d'onde, certains constructeurs suppriment ces radiations du rayonnement émis par leurs sources en les absorbant au moyen de verres spéciaux. Le verre, à cet effet, peut être interposé sur le trajet des rayons, ou encore constituer l'enveloppe même du brûleur.

Pour arrêter les radiations de longueurs d'onde inférieures à 2.800 Å, on choisit des verres qui, sous une épaisseur assez faible, présentent une transparence notable dans l'ultraviolet utile. En réglant convenablement l'épaisseur du verre, on recule sa limite de transparence jusqu'aux environs de 2.800 Å. De nombreux verres conviennent pour ce mode de filtration. Tels sont certains borosilicates sous faible épaisseur (Pyrex, Sibor), certains verres au plomb (verre de Thuringe). La plupart se trouvent dans le commerce sous des noms spéciaux dont les plus connus sont le verre Clear Corex D., le verre Uviol, le verre Vitaglass.

Notons qu'il a déjà été question (chapitre II : Dosimétrie photo-électrique) de verres analogues destinés à corriger l'effet sélectif de certaines cellules photo-électriques à cathode de cadmium ou de titane.

Bien entendu l'arrêt des radiations de courtes longueurs d'onde ne débute pas brutalement, et l'on doit s'attendre à ce qu'un verre dont l'absorption est totale à partir de 2.800 Å, arrête en partie les radiations de longueurs d'onde supérieures et en diminue ainsi l'activité.

Pour étudier l'influence d'un tel verre correcteur, je me suis adressé à la lampe Philips Biosol à laquelle le constructeur adjoint un filtre spécial en forme de manchon dont on peut entourer le brûleur de quartz tout entier.

Si l'on mesure l'activité de la lampe munie, puis privée de son filtre, on obtient les résultats suivants à une distance de 80 centimètres du brûleur :

	Sans filtre	Avec filtre
Rayonnement total	A.=88 finsens	A.=16 finsens
Radiations 3.350-2.800 ..	A.=48 finsens	A.=16 finsens
Radiations 2.800-2.400 ..	A.=40 finsens	A.= 0 finsens

Ainsi le filtre arrête totalement les radiations de l'intervalle spectral 2.800-2.400 Å. Mais en même temps, il réduit l'activité globale des autres radiations au tiers de sa valeur initiale.

Malgré cette diminution considérable, la lampe Biosol, remarquablement puissante, conserve, avec son filtre, une activité bien suffisante pour des applications thérapeutiques. Mais une lampe moins poussée verrait, dans les mêmes conditions, son activité réduite à une valeur par trop inférieure. Celle de l'arc Gallois type R. P. tomberait à 1 finsen, celle de l'arc George à 5 finsens, celle de l'arc Bruhat-Gallois à 6 finsens, etc...

On peut ainsi déduire de cette étude que l'utilisation des filtres de ce genre doit être réservée aux lampes très puissantes susceptibles de conserver une activité suffisante malgré la filtration sélective imposée au rayonnement.

III. — Influence de l'alimentation d'une source sur son activité

1° Pour étudier les variations de l'activité d'une source artificielle avec la puissance qu'elle consomme, il suffit de disposer, dans le circuit d'alimentation, une résistance variable qui permet d'augmenter progressivement l'intensité du courant. La tension d'alimentation croît en même temps ; on augmente ainsi peu à peu la puissance consommée dans la lampe. Un ampèremètre monté en série donne l'intensité du courant qui traverse le brûleur ; un voltmètre indique la tension aux bornes mêmes de la lampe.

Cette étude effectuée sur la lampe à vapeur de mercure George-Gallois (voir ci-dessus) a fourni les résultats consignés dans le tableau suivant :

TABLEAU

i ampères (intensité)	V volts (tension)	W watts (puissance consommée)	A Finsens (activité)
2,75	38	104	8
2,90	43	125	14
3,05	49	147	16,5
3,10	52,5	163	20
3,20	54	173	21,5
3,35	57	191	24,5
3,40	62,5	212	28
3,60	64	230	31
3,70	65	240	32,5
3,75	67	251	34
3,80	71	270	37
3,85	73	281	39
3,90	75	292	41

La courbe de variation de l'activité avec la puissance consommée est indiquée sur la figure 1.

La tension la plus basse nécessaire à l'allumage automatique de l'arc est égale à 35 volts environ. Elle correspond à une puissance un peu inférieure à 100 watts. L'activité, très

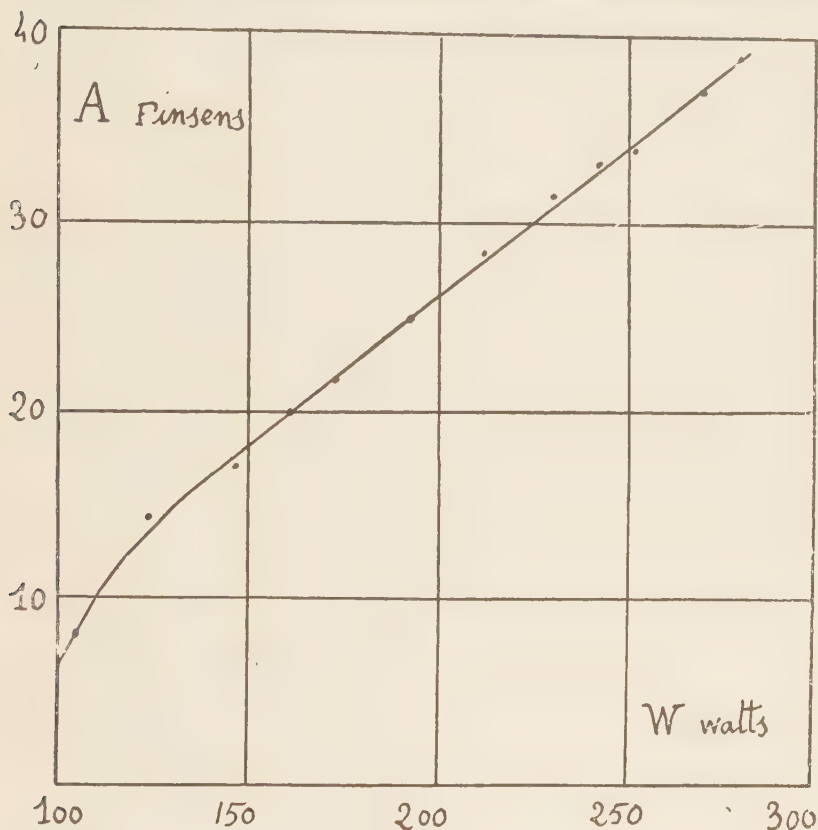


FIGURE I

Variation de l'activité d'une lampe à vapeur de mercure avec la puissance consommée.

faible d'abord augmente rapidement avec la consommation. Lorsque celle-ci atteint 150 watts, environ, la variation devient linéaire. Cette variation est encore intense. Par exemple, l'activité double lorsque la consommation passe de 163 à 290 watts.

2° On peut rapprocher de cette étude l'essai suivant qui

consiste à survolter ou sous-volter l'arc et à étudier les variations correspondantes de l'activité.

On met en expérience une lampe munie d'un transformateur à fiches multiples ; si l'on règle successivement le transformateur pour des tensions de 120, 110 et 100 volts, on fait fonctionner la lampe d'abord en régime sous-volté, puis en régime normal, enfin en régime survolté. La lampe Gallois type R. P. a fourni les résultats suivants :

	Brûleur neuf	Brûleur usagé
Lampe survoltée	A.=8,0 finsens	A.=8,3 finsens
Lampe normale	A.=6,2 finsens	A.=4,7 finsens
Lampe sous-voltée	A.=4,0 finsens	A.=2,0 finsens

Cette comparaison des deux brûleurs montre la plus grande sensibilité du brûleur usagé aux variations de tension.

CHAPITRE VI

INFLUENCE DE L'ABSORPTION ATMOSPHERIQUE SUR L'ACTIVITE BIOLOGIQUE DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Introduction

Nous venons de voir, au cours du précédent chapitre, quelques-uns des facteurs qui modifient l'activité des sources artificielles de rayonnements ultraviolets, et plaident en faveur d'une mesure précise de cette activité. On peut se demander si l'intérêt de pareilles mesures subsiste en héliothérapie, où le soleil représente une source naturelle bien différente des sources artificielles précédemment décrites. Différent par sa nature même, par sa composition spectrale, par les circonstances dans lesquelles il nous parvient, le rayonnement solaire subit-il des fluctuations importantes susceptibles de modifier son activité ?

Parmi les différents facteurs qui interviennent dans ce sens, le plus important est représenté par l'atmosphère terrestre. Celle-ci, par divers processus, soumet le rayonnement solaire à une filtration sélective, et contribue à diminuer ainsi son intensité au niveau du sol.

Cette filtration dépend à son tour de facteurs éminemment variables dont les fluctuations retentissent à la fois sur l'intensité du rayonnement qui parvient au sol, et sur sa répartition spectrale. Ils modifient donc, en même temps, son activité. Cette remarque attire ainsi l'attention sur la nécessité de doser cette activité avec précision lors des cures héliothérapiques.

En attendant d'effectuer, en un prochain travail, de semblables dosages, il est possible, grâce aux données actuelles relatives à l'absorption atmosphérique, de prévoir l'amplitude que peuvent atteindre les fluctuations ordinaires de l'activité solaire.

Tel est l'objet du présent chapitre.

Lorsqu'ils déterminèrent, pour la première fois, la courbe d'érythème, Hausser et Vahle (42), attirèrent l'attention sur une coïncidence remarquable. La première boucle de la courbe d'érythème, qui groupe les radiations les plus actives, au point de vue biologique, comprises entre 2.900 et 3.200 Å, correspond, dans le spectre, au début de la grande bande d'absorption de Hartley de l'ozone. Dans cette région spectrale l'absorption par l'ozone est tellement intense, que les quantités infimes de ce gaz contenues dans l'atmosphère, suffisent à diminuer considérablement l'intensité des radiations qui parviennent au sol, et à arrêter totalement les plus courtes d'entre elles.

Ainsi, les variations de l'épaisseur d'ozone traversée par les rayons, variations qui résultent des fluctuations journalières de la teneur de l'atmosphère en ozone, et surtout, au cours de la journée, de l'obliquité variable des rayons solaires, retentissent-elles sur l'activité du rayonnement solaire, en modifiant la transparence de l'atmosphère vis-à-vis de ses radiations les plus actives.

Il est donc intéressant ⁽¹⁾ de calculer de façon aussi précise que possible, l'influence de ces variations, et d'établir une relation entre l'épaisseur d'ozone traversée et l'activité du rayonnement au niveau du sol. Les connaissances actuelles relatives à l'émission solaire et à l'absorption atmosphérique, en fournissent les moyens.

(¹) On doit signaler à ce sujet, l'attention portée antérieurement sur cette question par P. Götz (39) et J. Saidman (73).

Puis quelques travaux personnels récents qui sont groupés dans le présent chapitre (49-54-50).

Expression de l'activité du rayonnement solaire

La recherche d'une relation entre l'absorption atmosphérique et l'activité du rayonnement ultraviolet solaire, implique une définition mathématique de cette activité. On peut utiliser ici les expressions que j'ai déjà données au chapitre I^{er} (p. 11) qui représentent l'activité A , d'une radiation monochromatique par le produit de la densité du flux Φ_λ qu'elle transporte, par son efficacité érythémale E_λ , et l'activité d'un rayonnement complexe par l'expression

$$A = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda \cdot \Phi_\lambda \cdot d\lambda$$

où λ_1 et λ_2 représentent les limites du domaine spectral des radiations actives.

Désignons par $\Phi_{0\lambda}$ la densité du flux en dehors de l'atmosphère, et examinons dans quelles conditions l'absorption atmosphérique peut intervenir pour réduire $\Phi_{0\lambda}$ à la valeur Φ_λ . Si nous laissons de côté l'influence de la vapeur d'eau et des poussières, évidemment très variable et dont on n'a pas à tenir compte dans les stations climatiques d'altitude (seules, les belles journées intéressent l'héliothérapie), nous arrivons à considérer deux causes d'affaiblissement du rayonnement solaire : la présence d'ozone, et la diffusion moléculaire.

Désignons par k_λ et K_λ les coefficients d'absorption par l'ozone et par la diffusion moléculaire, relatifs à la radiation λ . Ils sont définis par les relations :

$$\frac{I}{I_0} = 10^{-k_\lambda \cdot l} \quad \frac{I}{I_0} = 10^{-K_\lambda \cdot h}$$

dans lesquelles I_0 et I représentent les intensités incidente et transmise, l l'épaisseur réduite de la couche d'ozone exprimée en centimètres, h l'épaisseur d'air normal exprimée en centimètres.

L'activité érythémale monochromatique du rayonnement solaire après la traversée de l'épaisseur l d'ozone et de la hauteur h d'atmosphère, a pour expression :

$$A_{\lambda} = E_{\lambda} \cdot \Phi_{0\lambda} \cdot 10^{-k_{\lambda}l} \cdot 10^{-K_{\lambda}h}$$

et l'activité érythémale du rayonnement total est donnée par l'intégrale :

$$A_l = \int_{2910}^{3300} E_{\lambda} \cdot \Phi_{0\lambda} \cdot 10^{-k_{\lambda}l} \cdot 10^{-K_{\lambda}h} d\lambda ;$$

la variation de cette activité considérée comme une fonction de l'épaisseur réduite l d'ozone traversée, est exprimée par la dérivée :

$$\frac{dA}{dl} = \frac{1}{\log e} \int_{2910}^{3300} E_{\lambda} \cdot \Phi_{0\lambda} \cdot k_{\lambda} \cdot 10^{-k_{\lambda}l} \cdot 10^{-K_{\lambda}h} d\lambda.$$

Données.

Il importe d'examiner successivement les données du problème qui sont rassemblées dans le tableau I.

TABEAU I

1	2	3	4	5	6	7
λ	E_{λ}	k_{λ}	K_{λ}	$\Phi_{0\lambda} \times \text{const}$	$\Phi_{0\lambda}$	$A_{0\lambda}$
					microwatts	finsens/Å
3 300 Å	0,000	0,067	0,41 10^{-6}	67,15	12,15	0
3 261	0,004	0,14	0,43 »	65,6	11,87	0,000 05
3 231	0,4	0,22	0,446 »	64	11,58	0,004 6
3 200	0,5	0,42	0,463 »	62,56	11,32	0,005 6
3 178	0,7	0,52	0,476 »	61,4	11,11	0,007 7
3 143	1,5	0,79	0,496 »	60,2	10,9	0,016
3 125	3,8	0,98	0,51 »	59,05	10,69	0,04
3 100	11	1,49	0,526 »	57,9	10,48	0,115
3 080	18	1,92	0,54 »	56,9	10,3	0,185
3 052	32	2,6	0,56 »	55,4	10,03	0,32
3 021	56	3,75	0,584 »	53,7	9,72	0,546
2 997	84	5	0,6 »	52,5	9,5	0,798
2 967	100	8,2	0,627 »	51	9,23	0,923
2 946	90	10,6	0,645 »	50	9,05	0,814 5
2 931	76	13,1	0,658 »	49,1	8,89	0,675 6
2 910	47	17,4	0,68 »	46,6	8,44	0,396 7

En premier lieu, on peut constater que le produit $E_{\lambda} \Phi_0$ ne peut être calculé qu'à une constante près, car E_{λ} varie, en valeur absolue, d'un individu à l'autre, et même d'un point à l'autre de l'épiderme. Il suffit de connaître la variation de E_{λ} et de Φ_0' avec λ . Les diverses valeurs de Al seront ainsi connues à une constante près, que l'on déterminera ultérieurement en tenant compte des unités choisies et des observations physiologiques effectuées.

1° Dans la colonne 2 du tableau 1 sont reportées les valeurs relatives de l'efficacité érythémale des diverses radiations, valeurs obtenues par Coblenz et Stair (19).

La valeur 100 est attribuée arbitrairement à l'efficacité de la radiation la plus active $\lambda=2.967 \text{ \AA}$.

2° Le coefficient d'absorption k_{λ} de l'ozone est indiqué dans la troisième colonne. Les valeurs adoptées ont été obtenues par Ny-Tsi-Ze et Chong-Shin-Piaw (61-62) (1). Elles sont ici trop peu nombreuses pour indiquer l'existence des bandes de Huggins dans la région envisagée. Dans les calculs ultérieurs, je tiendrai compte de ces bandes en utilisant des valeurs intermédiaires du coefficient k_{λ} .

3° Dans la quatrième colonne sont consignées les valeurs du coefficient d'absorption K_{λ} correspondant à la diffusion moléculaire de l'atmosphère. Elles ont été calculées à partir de la formule classique de Cabannes et Dufay (14) :

$$K_{\lambda} = \frac{8\pi^3}{3\lambda^4} \frac{(\mu^2 - 1)^2}{n} \cdot \frac{6 + 3\rho}{6 - 7\rho} = \frac{K_{\lambda}}{0,434 \ 29}$$

où λ est exprimée en centimètres ; l'indice de réfraction μ de l'air est considéré comme constant dans l'intervalle spectral 2.900-3.300 $\text{\AA}$, et égal à $4,04 \cdot 10^{-4}$. Le nombre n de particules diffusantes par cm^3 est égal à $2,9 \cdot 10^{19}$. Enfin, ρ , dépolarisation de la lumière diffusée à 90° du faisceau incident, est pris égal à 0,042. On obtient, dans ces conditions :

(1) Ces valeurs ont été mesurées au laboratoire. Elles ne tiennent pas compte de l'influence de la température sur le spectre d'absorption de l'ozone, à laquelle est soumis l'ozone atmosphérique. Voir à ce sujet les études récentes de Barbier, Chalonge et Vassy (78).

$$K'_\lambda = \frac{1,126}{\lambda^4} \cdot 10^{-24} \quad K_\lambda = \frac{0,49}{\lambda^4} \cdot 10^{-24}$$

(λ est exprimée en centimètres).

4° On a fait figurer dans la colonne 5 les valeurs relatives de l'intensité spectrale énergétique du rayonnement noir correspondant à 6.000° K⁽¹⁾. On peut calculer le facteur par lequel elles doivent être multipliées pour que $\Phi_{o\lambda}$ représente en microwatts l'énergie tombant sur une surface de 1 cm², normale aux rayons solaires et extérieure à l'atmosphère, pour les radiations comprises dans un intervalle de 1 angström autour de chaque longueur d'onde moyenne.

Désignons par ε la valeur, en microwatts, de l'énergie lumineuse apportée sur la surface considérée par les radiations solaires de l'intervalle spectral 2.910-3.300 Å. En donnant à $\Phi_{o\lambda}$ la signification qui vient d'être indiquée, on peut écrire :

$$\varepsilon = \int_{2910}^{3300} \Phi_{o\lambda} d\lambda.$$

Puisque nous identifions l'émission solaire à celle du corps noir à 6.000° K, il est possible de calculer la fraction de l'énergie totale transportée par les radiations comprises entre 2.910 et 3.300 Å. En se reposant aux tables classiques (38) on trouve que cette fraction f :

$$f = \frac{\int_{2910}^{3300} \Phi_{o\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi_{o\lambda} d\lambda}$$

a pour valeur 3,028.10⁻². Or, les conditions que nous avons fixées pour $\Phi_{o\lambda}$ nous permettent d'écrire :

$$f = \frac{\varepsilon}{C},$$

(¹) Des mesures récentes de Coblentz (25) semblent indiquer que la répartition spectrale de l'énergie dans le rayonnement ultraviolet solaire extrême serait mieux représentée par celle du corps noir à 4000° K.

C étant la constante solaire. En adoptant la valeur obtenue par Abbot et Fowle, $C=1.345,10^3$ ergs/cm²/seconde, il vient :

$$\epsilon=C \times f=40.726,6 \text{ ergs/cm}^2/\text{seconde},$$

$$\text{ou } 4.073 \text{ microwatts/cm}^2.$$

D'autre part, une intégration graphique effectuée entre 2.910 et 3.300 Å le long de la courbe $\Phi_{0\lambda} \times C^0=f(\lambda)$ construite d'après les valeurs de la colonne 5 du tableau I, fournit :

$$R = \int_{2910}^{3300} \Phi_{0\lambda} \times \text{constante} \times d\lambda = \epsilon \times \text{constante}.$$

On trouve : $R=22.502$ microwatts/cm² ;
d'où :

$$\text{constante} = \frac{R}{\epsilon} = \frac{22\,502}{4\,073} = 5,52.$$

Telle est la valeur de la constante de la colonne 5. La constante de proportionnalité cherchée, par laquelle il faut multiplier les valeurs de la colonne 5 pour obtenir les valeurs de $\Phi_{0\lambda}$, est l'inverse de celle-ci, c'est-à-dire :

$$\frac{1}{5,52} = 0,181.$$

On trouve ainsi les valeurs de la colonne 6, qui expriment en microwatts l'énergie tombant sur une surface de 1 cm², extérieure à l'atmosphère, normale à la direction des rayons, pour les radiations comprises dans un intervalle spectral de 1 Å autour de chaque radiation.

5° La colonne 7 renferme les valeurs du produit :

$$A_{0\lambda} = \Phi_{0\lambda} \cdot E$$

qui représente l'efficacité érythémale de chaque radiation avant la traversée de l'atmosphère. Comme $\Phi_{0\lambda}$ est relatif à une surface de 1 cm², le produit précédent n'est autre chose que la densité du flux érythémal. Je l'ai exprimée ici en finsens. Cette unité, je le rappelle (1), est définie de la ma-

(1) Voir Chapitre I, page 24.

nière suivante : on appelle E. Viton un flux équivalent du point de vue érythémal à 10 microwatts transportés par la radiation la plus active $\lambda=2.967 \text{ \AA}$. L'unité de densité de flux érythémal, ou finsen, correspond à un flux de 1, E. Viton, sur une surface de 1 cm^2 normale aux rayons.

Pour obtenir les valeurs de la colonne 7, il suffit d'appliquer la formule :

$$A_{0\lambda} = \frac{E_{\lambda} \times \Phi_{0\lambda}}{100 \times 10}$$

finsens par unité de longueur d'onde, dans laquelle les valeurs de E_{λ} de la colonne 2 sont divisées par 100 (l'efficacité 1 étant attribuée à la radiation la plus active) et celles de $\Phi_{0\lambda}$ par 10 (il s'agit de 10^{-5} watts et non pas de 10^{-6} watts). Remarquons qu'il s'agit ici de finsens par unité de longueur d'onde, autour de chaque radiation moyenne.

Ainsi, dans la formule qui exprime l'activité biologique de la radiation

$$A_{\lambda} = \Phi_{0\lambda} \cdot E_{\lambda} \cdot 10^{-k_{\lambda} l} \cdot 10^{-K_{\lambda} h}$$

il ne reste plus qu'à déterminer l'épaisseur d'air h traversée par le rayonnement, réduite aux conditions normales. Puisqu'il s'agit ici d'une étude théorique intéressant avant tout l'héliothérapie, il convient de choisir une altitude voisine de celles où se trouvent, en général, les stations climatiques. J'adopterai dans les calculs ultérieurs l'altitude de 1.000 mètres au-dessus du niveau de la mer. Ces calculs, qui ne peuvent donner qu'une solution mathématique du problème posé, fournissent cependant des résultats valables pour les altitudes voisines, car l'absorption par diffusion par une couche d'air de 100 à 200 mètres n'interviendrait que très faiblement. Ces calculs sont, d'ailleurs, suffisamment simples pour être repris en donnant à h d'autres valeurs. Ils envi-

TABLEAU II.

λ	$l = 0$	0,20 cm.	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,50	0,60 cm.
2910 Å	131,3.10 ⁻³	4,35.10 ⁻⁵	1,9.10 ⁻⁵	8,74.10 ⁻⁶	3,94.10 ⁻⁶	1,76.10 ⁻⁶	7,9.10 ⁻⁷	3,5.10 ⁻⁷	1,6.10 ⁻⁷	7,2.10 ⁻⁸	3,2.10 ⁻⁸	1,4.10 ⁻⁹	2,6.10 ⁻¹⁰	4,8.10 ⁻¹²
2931	229,3	4,45.10 ⁻⁴	3,04.10 ⁻⁴	1,63.10 ⁻⁴	9,1.10 ⁻⁵	4,98.10 ⁻⁵	2,72.10 ⁻⁵	1,49.10 ⁻⁵	8,14.10 ⁻⁶	4,46.10 ⁻⁶	2,44.10 ⁻⁶	1,33.10 ⁻⁶	6,5.10 ⁻⁸	3,2.10 ⁻⁶
2946	285,6	2,17.10 ⁻³	1,33.10 ⁻³	8,13.10 ⁻⁴	5,01.10 ⁻⁴	3,07.10 ⁻⁴	1,88.10 ⁻⁴	1,16.10 ⁻⁴	7,2.10 ⁻⁵	4,35.10 ⁻⁵	2,68.10 ⁻⁵	1,64.10 ⁻⁵	1,4.10 ⁻⁶	1,2.10 ⁻⁷
2967	333,3	7,63	5,23	3,59.10 ⁻³	2,46.10 ⁻³	1,65.10 ⁻³	1,15.10 ⁻³	7,94	5,42.10 ⁻⁴	3,72.10 ⁻⁴	2,55.10 ⁻⁴	1,75.10 ⁻⁴	2,6.10 ⁻⁵	4.10 ⁻⁹
2997	301,1	36,42	23,91	19	15,1	12	9,5	7,54.10 ⁻³	6,01.10 ⁻³	4,77.10 ⁻³	3,79.10 ⁻³	2,72.10 ⁻³	2,82.10 ⁻³	1,19.10 ⁻⁵
3021	210,3	40,54	32,27	26,47	22,7	18,74	15,77	13,3	11,1	9,76	7,9	6,65	6,46	3,55
3052	129	38,08	34,56	30,07	27,2	24,13	21,41	19	17,25	14,95	13,25	11,24	6,46	3,55
3080	77,07	31,84	29,78	26,66	24,49	22,36	20,46	18,75	17,15	15,7	14,36	13,15	8,44	5,42
3100	49,07	24,9	23,07	21,93	20,1	18,77	17,53	16,37	15,28	14,27	13,32	12,44	7,85	6,25
3125	17,7	11,26	10,77	10,29	9,84	9,41	8,99	8,59	8,23	7,85	7,51	7,18	5,65	4,51
3143	7,28	5,06	4,88	4,7	4,53	4,27	4,22	4,03	3,97	3,79	3,51	3,51	2,88	2,4
3178	3,73	2,83	2,76	2,69	2,63	2,52	2,50	2,46	2,39	2,33	2,28	2,22	1,95	1,73
3200	2,64	2,18	2,14	2,1	2,06	2,02	1,98	1,92	1,89	1,86	1,83	1,79	1,63	1,48
3231	2,28	2,06	2,04	2,02	2,00	1,98	1,96	1,94	1,92	1,89	1,88	1,86	1,73	1,04
3261	2,7.10 ⁻³	2,53.10 ⁻³	2,52.10 ⁻³	2,50.10 ⁻³	2,48.10 ⁻³	2,47.10 ⁻³	2,45.10 ⁻³	2,44.10 ⁻³	2,42.10 ⁻³	2,4.10 ⁻³	2,39.10 ⁻³	2,37.10 ⁻³	2,12.10 ⁻³	2.10 ⁻³
3300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ce tableau donne les valeurs de l'activité érythémale monochromatique $A_j = \Phi_{0j} \cdot E_{\lambda} \cdot 10^{-k} \cdot l \cdot 10^{-K_j h}$ en finsens, par unité de longueur d'onde, pour des épaisseurs réduites d'ozone variant de 0 à 0,6 centimètre.

sagent ici *le cas idéal de rayons solaires verticaux*. La pression normale à l'altitude de 1.000 m., calculée d'après la formule classique de Laplace, est égale à 67,1 cm. de mercure. Elle correspond à une hauteur réduite d'air de :

$$h=7.050.10^5 \text{ cm.}$$

On peut alors calculer A_λ pour diverses valeurs de l'épaisseur l d'ozone. Le tableau II donne les résultats de ce calcul pour des épaisseurs d'ozone variant de 2 à 6 mm. Les variations ordinaires de la couche d'ozone restent comprises dans l'intervalle de 2 à 4 mm. ; mais on devra considérer de plus grandes épaisseurs lorsqu'on envisagera le cas, général d'ailleurs, de rayons obliques et non pas verticaux.

Il faut noter que les valeurs de $\Phi_{0\lambda}$ du tableau I, valeurs utilisées dans le calcul de A_λ , représentent le flux énergétique transporté par les radiations comprises dans un intervalle de 1 angström autour de chaque radiation. Les valeurs A_λ obtenues dans le tableau II expriment les densités de flux érythémal correspondant au même intervalle de radiations. Elles sont exprimées en *finsens par unité de longueur d'onde* et permettent de construire le réseau de courbes $A_\lambda=f(\lambda)$ pour les diverses valeurs de l envisagées (fig. 1).

Dans cette figure, les longueurs d'onde sont portées en abscisses, et en ordonnées sont indiquées les valeurs de $A_\lambda.10^3$, exprimées en finsens par unité de longueur d'onde.

L'activité érythémale des radiations comprises dans l'intervalle $d\lambda$ autour de λ est donnée en finsens par le produit $A_\lambda.d\lambda$. On peut alors intégrer graphiquement les courbes de la figure (1), et obtenir ainsi pour diverses épaisseurs de la couche d'ozone la valeur Al , de l'activité érythémale des rayons solaires, exprimée en finsens.

Les résultats sont mentionnés dans le tableau suivant :

TABLEAU III

l cm	Activité A_l	Longueur d'onde du maximum
0	68,7 finsens	2.970 Å
0,2	5,37	3.025
0,22	4,48	3.043
0,24	3,85	3.048
0,26	3,38	3.052
0,28	3,00	3.056
0,3	2,68	3.060
0,32	2,42	3.065
0,34	2,17	3.070
0,36	1,96	3.075
0,38	1,75	3.080
0,4	1,56	3.085
0,5	1,02	3.092
0,6	0,70	3.100

Remarques. — 1° Les résultats du tableau III montrent que la radiation solaire la plus active se déplace du côté des grandes longueurs d'onde lorsque l'épaisseur de la couche d'ozone augmente. En outre, il convient de spécifier que la valeur $A=68,7$ finsens de l'activité érythémale du rayonnement solaire pour une épaisseur nulle d'ozone tient compte des radiations plus courtes que 2.910 Å, car l'absence d'ozone permet à ces radiations, encore actives du point de vue érythémal, de parvenir à l'altitude de 1.000 m. en quantité suffisante pour agir notablement.

Sur la figure (2) ont été tracées les courbes pour :

$l=0$;

$l=0,2$ cm. ;

$l=0,6$ cm. ;

2° Ces résultats sont en accord avec une observation de Lückiesh et Holladay qui, un jour d'été, à midi, ont trouvé une densité du flux érythémal solaire égale à 2,1 finsens.

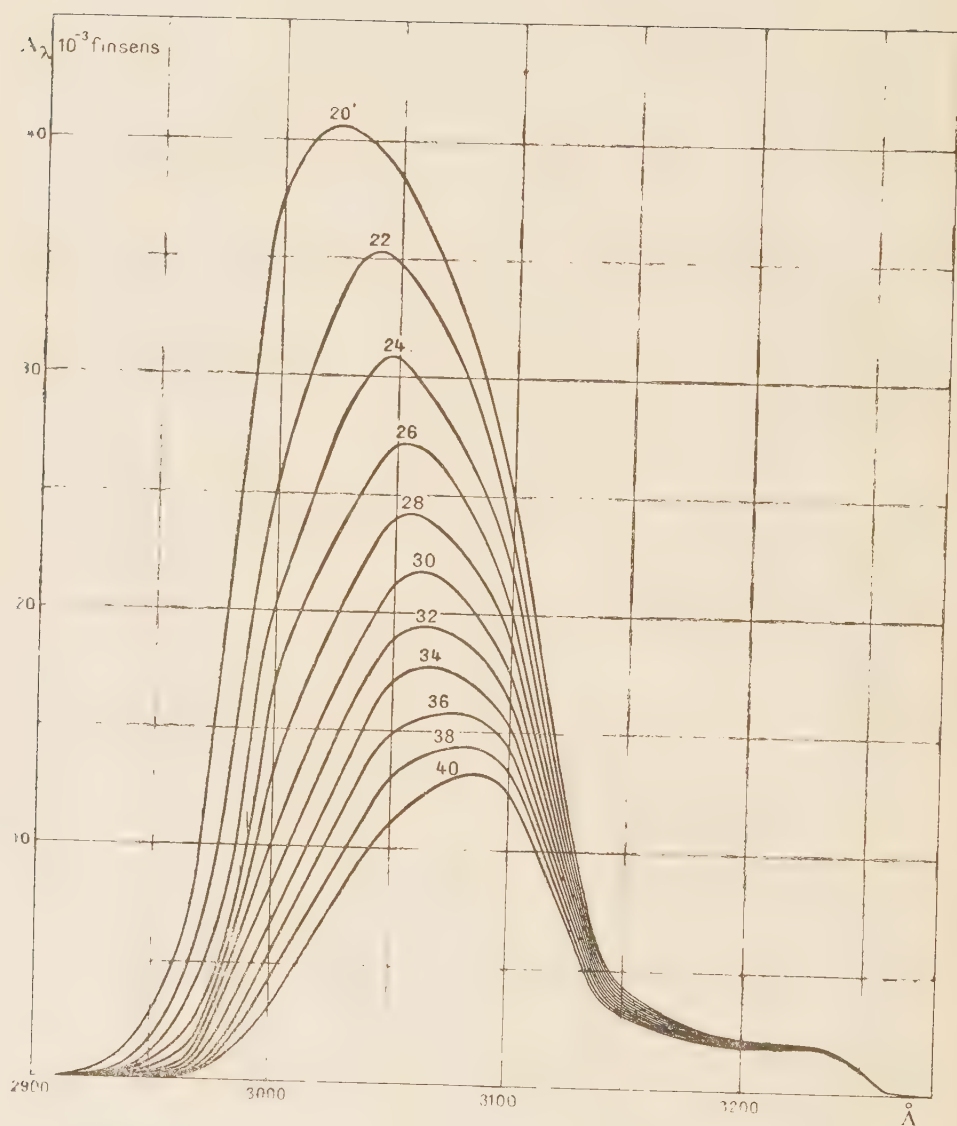


FIGURE 1.

Courbes de variation spectrale de l'activité érythémale monochromatique pour des épaisseurs réduites d'ozone variant de 0,2 à 0,4 cm.

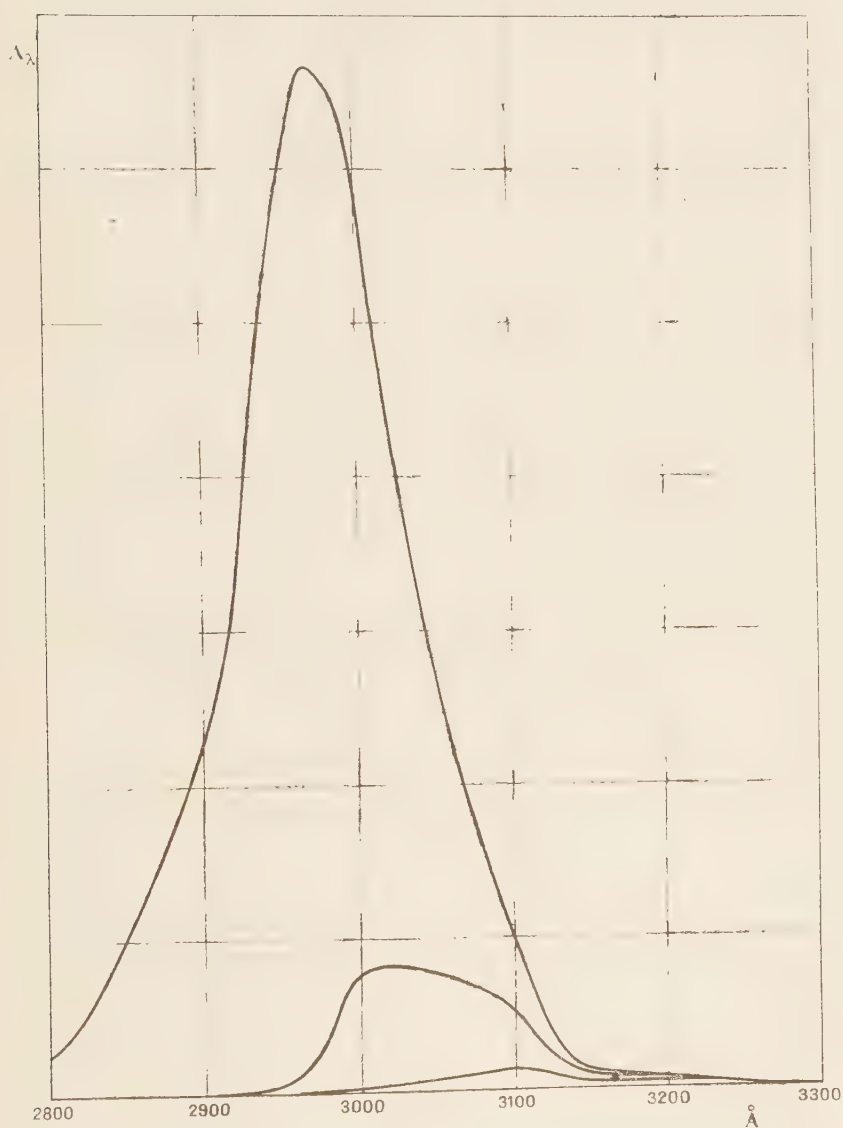


FIGURE 2.

Courbes de variation spectrale de l'activité érythémale pour les épaisseurs réduites d'ozone :

$l = 0$ courbe supérieure (Noter l'importance encore grande des radiations 2 800-2 900 Å).

$l = 2$ mm.

$l = 6$ mm. courbe inférieure.

Etude de la variation $A_1=f(l)$

Les résultats indiqués dans le tableau III permettent de tracer la courbe $A_1=f(l)$ (fig. 3), qui traduit la variation de l'activité érythémale en fonction de l'épaisseur d'ozone traversée. Elle donne donc la solution du problème posé.

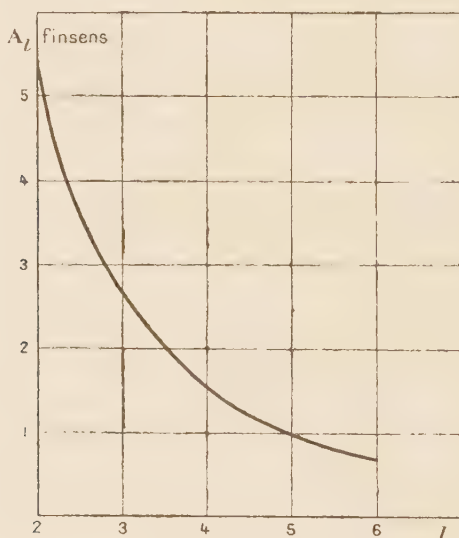


FIGURE 3.

Variation de l'activité érythémale A_1 du rayonnement solaire avec l'épaisseur réduite l de la couche d'ozone atmosphérique exprimée en millimètres.

Il convient de rappeler que l'ordonnée A_1 de cette courbe représente, en finsens, l'activité érythémale (qui a été identifiée à la densité de flux érythémal) du rayonnement solaire total, sur une surface, normale aux rayons supposés verticaux, située à l'altitude de 1.000 m.

Pour une épaisseur d'ozone de 2 mm., cette activité est égale à 5,37 finsens. En d'autres termes, une surface horizontale de 1 cm² reçoit 5,37 E. Vitons. Quand la couche d'ozone équivaut à 4 mm., l'activité est réduite à 1,56 finsens; elle devient donc 3,44 fois plus faible. Ceci met en évidence l'importance considérable des fluctuations de l'ozone at-

mosphérique vis-à-vis de l'activité érythémale du rayonnement solaire.

Ces variations quantitatives de l'ozone ont fait l'objet de nombreuses recherches. Si l'on se reporte aux résultats obtenus par J. Cabannes et J. Dufay (15) à partir des données de Abbot et Fowle, on constate des exemples tels que ceux-ci :

Variations d'une année à l'autre.

	Variation de l'épaisseur de O ³ exprimé en mm.	Variation de l'activité érythémale (toutes choses égales d'ailleurs, hauteur du soleil, pureté de l'atmosphère)
Entre juillet 1908 et juillet 1909	de 3,9 à 2,85	de 1,63 à 2,91 soit 1,78 fois
Entre juillet 1918 et juillet 1919	de 4,4 à 2,4	de 1,3 à 3,96 soit 3 fois
Entre juin 1910 et juin 1914	de 2,85 à 4,5	de 2,91 à 1,25 soit 2,3 fois
Entre octobre 1909 et octobre 1910	de 2,1 à 3,25	de 5 à 2,3 soit 2,17 fois

Variations d'un jour à l'autre

Elles sont rarement aussi importantes que les précédentes. Elles peuvent, parfois, affecter notablement l'activité érythémale. Voici quelques exemples extraits des mesures effectuées à Marseille en 1927 par M. H. Buisson (13) :

	Épaisseur de O en mm.	Activité érythémale
Du 11 au 12 février	de 3,37 à 2,81	de 2,14 à 2,92
Du 3 au 19 février	2,8 à 3,8	3,0 à 1,74
Du 28 au 29 mars	4,48 à 3,79	1,26 à 1,75
Du 21 au 28 mars	3,04 à 4,48	2,60 à 1,26
Du 15 au 16 avril	3,45 à 4,04	2,05 à 1,53
Du 7 au 16 avril	3,18 à 4,04	2,42 à 1,53

Du 25 au 26 janvier 1935 à Abisko, Barbier, Chalonge et Vassy (4) ont observé une variation de l'épaisseur d'ozone particulièrement intense : de 1,60 à 3,45 mm. Soit une variation de l'activité érythémale de 4 fois (8,04 à 2,05 finsens).

Variations diurnes.

Enfin, l'épaisseur d'ozone traversée par les rayons solaires varie considérablement pendant la journée avec la hauteur du soleil sur l'horizon. La variation correspondante de l'activité érythémale enlève toute signification aux traitements qui, fondés uniquement sur la durée de l'exposition et la position du malade par rapport aux rayons, ne tiennent pas compte de l'heure, c'est-à-dire de la hauteur du soleil. Cette variation est, en effet, énorme. Considérons, par exemple, le cas d'une station située à l'altitude de 1.000 mètres, un jour où l'épaisseur normale d'ozone est égale à 0,3 cm. Soit Z la distance zénithale et A l'activité érythémale du soleil. Le calcul fournit les valeurs suivantes consignées dans le tableau IV et sur la figure 4 :

TABLEAU IV

Z	A
—	—
0°	2,68 finsens
10°	2,55
20°	2,20
30°	1,77
40°	1,29
50°	0,78
60°	0,31
65°	0,16

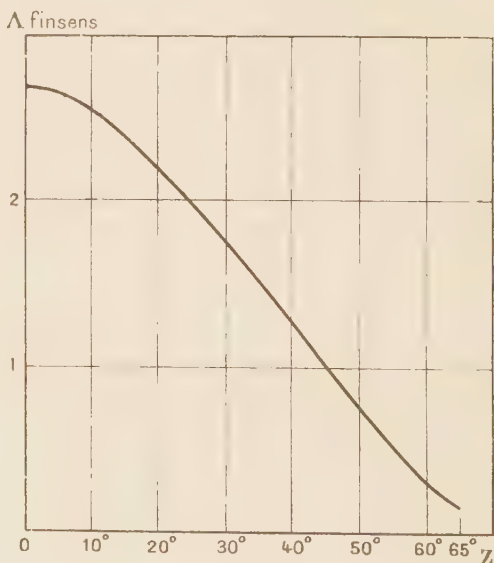


FIGURE 4.

Variation, au cours de la journée, de l'activité érythémale avec la distance zénithale Z du soleil.

Ainsi l'activité varie de 17 à 1 lorsque le soleil passe du zénith à une hauteur de 25° sur l'horizon.

Expression mathématique de la variation $A_1=f(l)$

On pouvait résoudre le problème directement, en intégrant l'expression :

$$A_l = \int_{2910}^{3310} E_{\lambda} \Phi_{0\lambda} 10^{-k_{\lambda}l} 10^{-K_{\lambda}h} d\lambda$$

après avoir déterminé des expressions empiriques des variables en fonction de λ . J'ai effectué, avec la collaboration de M. J.-J. Muller, une tentative dans ce sens, qui a abouti à une intégration impossible de la forme :

$$\int \alpha^x \beta^{\frac{x}{\gamma}} dx.$$

Nous donnons, pour mémoire, une fonction qui représente de façon satisfaisante la variation du coefficient d'absorption de l'ozone avec la longueur d'onde, d'après les valeurs de Ny-Tsi-Ze :

$$\log k_{\lambda} = 18,254 - 0,00585 \lambda, \quad (\lambda \text{ en angströms})$$

formule assez voisine de celle donnée par Laüchli à partir de valeurs plus anciennes de k :

$$\log k_{\lambda} = 16,74 - 0,00536 \lambda.$$

Nous avons alors cherché simplement à représenter la courbe de la figure (3), dont la simplicité permet de nombreuses expressions. Nous donnons la suivante :

$$(1) \quad A_1 = \frac{68,7}{1 + 245,2 \cdot l^{1,9}} \text{ finsens} \quad (l \text{ en centimètres}).$$

Cette formule permet d'interpoler et d'extrapoler les résultats du tableau III. Nous donnons, pour terminer, les valeurs de A_1 obtenues au moyen de la formule (1), pour des épaisseurs réduites d'ozone variant de dixièmes en dixièmes de millimètre, depuis 0,15 jusqu'à 0,65 centimètres.

TABLEAU V

A₁ en finsens : activité érythémale du soleil à l'altitude
de 1.000 m.

l en centimètres : épaisseur réduite d'ozone.

<i>l</i>	A	<i>l</i>	A	<i>l</i>	A
0	68,7	0,3	2,65	0,5	1,02
		31	2,50	51	0,99
		32	2,40	52	0,95
0,15	8,95	33	2,33	53	0,92
0,16	8,04	34	2,10	54	0,89
17	7,26	35	2,00	55	0,86
18	6,58	36	1,89	56	0,83
19	6,00	37	1,82	57	0,81
		38	1,74	58	0,78
		39	1,63	59	0,76
0,2	5,50	0,4	1,56	0,6	0,73
21	5,04	41	1,50	61	0,71
22	4,64	42	1,42	62	0,69
23	4,28	43	1,36	63	0,67
24	3,96	44	1,30	64	0,65
25	3,69	45	1,25	65	0,63
26	3,44	46	1,20		
27	3,21	47	1,15		
28	3,01	48	1,12		
29	2,82	49	1,08		

CONCLUSIONS

1. — Toute thérapeutique rationnelle par les rayons ultraviolets — et même toute radiothérapie, si l'on donne à ce terme son sens le plus général — exige, de la part du praticien, la connaissance de deux facteurs :

1° *La sensibilité* du malade qui, jointe à la connaissance de l'affection à traiter, permet de fixer la dose convenable.

2° *L'activité* de la source utilisée, qui permet de déterminer les conditions d'irradiation — durée, distance, étendue, etc. — auxquelles correspond la dose choisie.

Mesurer l'activité des différents rayonnements ultraviolets utilisés en thérapeutique, c'est-à-dire « doser » ces rayonnements, constitue le problème qui vient d'être traité. Pour poser ce problème, il a fallu tout d'abord préciser l'exacte signification de l'« activité » d'un rayonnement à l'égard d'un phénomène biologique.

a) A cet effet, j'ai défini mathématiquement l'activité A_λ d'une radiation monochromatique de longueur d'onde λ en un certain point, comme le produit $\Phi_\lambda \cdot E_\lambda$ de la densité de flux Φ_λ en ce point, par l'efficacité E_λ de la radiation considérée. Pour exprimer l'activité d'un rayonnement complexe, il a suffi d'intégrer cette expression par rapport à λ .

b) Cette intégration a exigé, entre autres choses, la définition du facteur d'efficacité monochromatique E_λ et la connaissance de sa variation en fonction de la longueur d'onde, variation qui traduit l'effet sélectif des radiations lumineuses sur l'organisme humain. C'était là le point le plus délicat parmi ceux qui se rattachent au problème. Pour l'élucider, il a été tenu compte de ce que la plupart des auteurs ont coutume de choisir pour coefficient E_λ le facteur d'efficacité monochromatique relatif au phénomène de l'érythème de la

peau, et pour courbe spectrale d'efficacité, la « courbe d'érythème ». Cette courbe, actuellement bien connue, semble conserver chez les différents sujets, des caractéristiques bien définies. L'opposition manifestée, en revanche, par certains auteurs, à l'égard de ce choix, m'a contraint à étudier cette question d'une manière approfondie. Cette étude a permis de mettre en évidence les points suivants :

1° L'interchangeabilité des radiations érythémales ne peut être admise — et encore, non sans quelques restrictions, — qu'au sein de deux domaines spectraux que l'on peut approximativement situer, le premier entre 2.400 et 2.800 Å, le second entre 2.800 et 3.350 Å. Il importe, en conséquence, de mesurer distinctement, dans un rayonnement complexe, la part de l'activité qui revient aux radiations de chacune de ces deux régions.

2° On peut alors adopter la courbe d'érythème à condition d'insister sur le côté quelque peu conventionnel de ce choix : « ...convention seulement, susceptible de changements au cas où des données biologiques nouvelles seraient acquises, mais convention logique et fondée, dominée par le souci d'attribuer aux coefficients qui s'en déduisent, un intérêt biologique suffisamment étendu ». Ce caractère conventionnel semble conférer à la courbe d'érythème une importance transitoire. Et l'on peut s'attendre à ce qu'une courbe spectrale d'efficacité plus satisfaisante nous soit un jour proposée. Il est alors souhaitable que l'abandon éventuel de la courbe d'érythème n'entraîne point celui d'une méthode de dosage satisfaisante. On saisit ainsi l'intérêt que présenterait *a priori*, toute méthode de dosage dont le principe même fût indépendant de la courbe spectrale de sensibilité cherchée.

c) Ainsi a-t-on pu conclure, en définitive, que tout appareil de dosage, susceptible de fournir en une lecture directe, l'activité d'un rayonnement complexe — c'est-à-dire, fonctionnant comme intégrateur — doit satisfaire aux conditions suivantes :

1° Présenter les qualités de sensibilité et de stabilité indispensables à tout dispositif photométrique.

2° Sa courbe spectrale de sensibilité doit être identique à la courbe d'érythème.

3° Il doit pouvoir mesurer séparément l'activité correspondant à chacune des deux régions spectrales 2.400-2.800 et 2.800-3.350 Å.

4° Si possible, son principe doit être indépendant de sa courbe spectrale de sensibilité.

II. — *Tentatives antérieures.*

Si l'on passe en revue les principales méthodes de dosage proposées jusqu'à ce jour, en examinant dans quelle mesure elles satisfont aux conditions qui viennent d'être énoncées, on aboutit aux conclusions suivantes :

a) Les méthodes *photochimiques* ont connu un certain succès pour leur grande simplicité. Mais les garanties d'exactitude qu'elles offrent, sont actuellement insuffisantes. Tout d'abord, les auteurs se sont rarement assurés de vérifier la proportionnalité rigoureuse de l'intensité de la réaction au flux lumineux incident, proportionnalité que de nombreux facteurs peuvent affecter.

En second lieu, au point de vue spectral, les auteurs les plus scrupuleux ont simplement cherché à faire coïncider la région des radiations actives avec celle de l'érythème. Mais au sein de cette région, on ignore comment se comportent entre elles les différentes radiations.

b) Contrairement aux précédentes, les *méthodes photoélectriques* ont été dominées par le souci de rapprocher la courbe spectrale de sensibilité du récepteur, de la courbe d'érythème. On a utilisé, à cet effet, des cathodes présentant l'effet photoélectrique normal (cadmium, titane, magnésium) dont le seuil est voisin de 3.300 Å. La croissance progressive de la sensibilité du côté des courtes longueurs d'onde, est corrigée au moyen de filtres convenables. On obtient ainsi des récepteurs sensibles dont le degré de précision est, à mon sens, encore insuffisant, limité par des facteurs qui ont été exposés en détails.

L'utilisation d'un récepteur *non sélectif* (thermopile) a fait

l'objet d'une intéressante série de travaux due à Coblenz et à ses collaborateurs. La méthode utilisée par ces auteurs donne des résultats exacts ; mais elle s'apparente à la spectrophotométrie, et ne réalise pas le dispositif intégrateur dont on perçoit aisément les avantages.

III. — Abandonnant alors ces diverses méthodes dont aucune n'avait abouti à un résultat véritablement satisfaisant, j'ai réalisé un dispositif entièrement nouveau, dont la description détaillée a été donnée au cours de ce travail. Si l'on examine comment ce dispositif répond aux exigences précédemment énoncées, on observe que :

1° Sa sensibilité est très suffisante pour les mesures auxquelles il est destiné.

2° Sa stabilité est assurée par un bon entretien et un réglage convenable de l'amplificateur.

3° Sa courbe spectrale de sensibilité peut être considérée comme identique à la courbe d'érythème (fig. p. 79).

4° Il permet de mesurer séparément les activités correspondant à chacune des deux régions spectrales que j'ai distinguées.

5° Il n'est nullement esclave de la courbe d'érythème, comme le serait par exemple une cellule photoélectrique au cadmium munie de filtre. Changer sa courbe spectrale de sensibilité revient à modifier la forme du découpage. Ainsi cette courbe est-elle modelable à volonté.

6° Enfin l'appareil fonctionne comme intégrateur. La mesure de l'activité d'une source est ramenée à celle d'un courant électrique. L'exactitude avec laquelle la courbe spectrale de sensibilité du récepteur reproduit la courbe d'érythème, permet même d'étalonner l'appareil en unités énergétiques absolues, et d'exprimer directement en finsens l'activité mesurée.

7° L'activité d'une lampe à vapeur de mercure Philipps Biosol mesurée d'abord au moyen du dosimètre, puis par voie spectrophotométrique, fournit deux résultats identiques à 5 p. cent.

IV. — Grâce à son exactitude, le dosimètre permet d'aborder avec précision les divers problèmes d'ordre photométrique relatifs aux rayonnements ultraviolets utilisés en thérapeutique. A titre d'exemple, j'ai effectué une série de mesures sur divers types de lampes à vapeur de mercure couramment utilisées, en précisant les variations de l'activité :

- a) d'un type de lampe à l'autre ;
- b) avec l'âge du brûleur ;
- c) avec la puissance consommée ;
- d) sous l'influence des verres destinés à arrêter les radiations de courtes longueurs d'onde.

Dans chaque cas, j'ai distingué, les activités relatives aux deux régions spectrales 2.400-2.800 et 2.800-3.350 Å.

V. — Avant d'étudier directement l'activité du rayonnement solaire, j'ai adjoint à ce travail une étude théorique destinée à mettre en évidence l'influence de l'absorption atmosphérique sur cette activité. Les calculs montrent que les variations de l'absorption atmosphérique — dues principalement aux fluctuations de la teneur en ozone, et aux variations de l'épaisseur atmosphérique traversée par les rayons au cours de la journée — entraînent des variations considérables de l'activité du rayonnement solaire. L'étendue de ces variations est telle, que tout centre héliothérapique important devrait posséder un moyen de les déceler.

Ces diverses études relatives aux sources artificielles et au soleil montrent, une fois de plus, l'importance que comporte au point de vue thérapeutique le dosage précis des rayonnements ultraviolets utilisés, et, par là même, l'intérêt d'un dispositif rigoureusement adapté à ce genre de mesures.

BIBLIOGRAPHIE

La bibliographie complète relative au sujet traité et aux questions connexes comprend plusieurs centaines de publications.

La rubrique suivante mentionne simplement celles d'entre elles qui ont été l'objet d'une étude spéciale.

1. E. Q. ADAMS, B. T. BARNES, W. E. FORSYTHE. — Erythema due to ultraviolet radiation. *Journal of the Optical Society of America*, t. 21 (1931), p. 207.
2. W. T. ANDERSON. — Constant ultraviolet output from quartz mercury arcs lamps. *Review of scientific instruments*, t. 5 (1934), p. 127.
3. A. BACHEM. — *American Journal of Physiology*, t. 90 (1929), p. 600 ; t. 91 (1929), p. 58 ; cité par H. LAURENS. The physiological effects of radiant energie.
4. D. BARBIER, D. CHALONGE, E. VASSY. — Mesure de l'épaisseur réduite d'ozone atmosphérique pendant l'hiver polaire. *Comptes Rendus*, t. 201 (1935), p. 787.
5. B. T. BARNES. — Spectral distribution of radiation from high and low pressure mercury arcs. *Journal of the Optical Society of America*, t. 24 (1934), p. 147.
6. F. BENFORD. — Powerful monochromator for the near ultraviolet. *General Electric Review*, t. 39 (1936), p. 181.
7. W. E. BERNHEIMER. — Die Intensität der ultravioletten Sonnenstrahlung ($\lambda=3.200$) in der Zeit von April bis Juni 1933. *Sitzungsbericht der Akademie der Wissenschaften in Wien*, t. 142 (1933), p. 449.
8. L. et E. BLOCH, G. DÉJARDIN. — Spectres d'étincelle du néon. *Journal de Physique*, t. 7 (série 7), 1926, p. 129.
9. A. BLONDEL. — Sur une solution de la photométrie hétérochrome permettant une mesure physique de l'intensité lumineuse. *Comptes Rendus*, t. 169 (1919), p. 830.
10. J. H. DE BOER, M. C. TEVES. — Die Rotverschiebung der Photoionisation von Alkaliatomen durch Adsorption an negativen Salzoberflächen. *Zeitschrift für Physik*, t. 73 (1932), p. 192.

11. H. BOMKE. — Ueber die lichtelektrischen Eigenschaften des Cadmium, insbesondere den Einfluss von Gasen auf Dieselben. *Annalen der Physik*, t. 10 (1931), p. 579.
12. H. BORDIER. — *Revue d'Actinologie et Physiothérapie*, t. 7 (1931), p. 593.
13. H. BUISSON. — Mesure de l'ozone contenu dans la haute atmosphère pendant l'année 1927. *Comptes Rendus*, t. 186 (1928), p. 1229.
14. J. CABANNES, J. DUFAY. — Transparence de l'atmosphère dans le spectre visible. Diffusion moléculaire ; absorption par l'ozone. *Journal de Physique*, t. 7, série 6 (1926), p. 257.
15. — Les variations de la quantité d'ozone contenu dans l'atmosphère. *Journal de Physique*, t. 8, série 6 (1927), p. 353.
16. A. CHEVALLIER, P. DUBOULOZ. — Sur l'application de la fluorescence aux mesures photométriques dans l'ultraviolet. *Comptes Rendus*, t. 194 (1932), p. 174.
17. J. H. CLARK. — The zinc sulphide method of measuring ultraviolet radiation and the results of three years observations on Baltimore sunshine. *Journal of the Optical Society of America*, t. 21 (1931), p. 240.
18. W. W. COBLENTZ, R. STAIR. — Ultraviolet transmission changes in glass as a function of the wave length of the radiation stimulus. *Bureau of Standards Journal of Research*, t. 13 (1934), p. 773.
19. W. W. COBLENTZ, R. STAIR, S. M. HOGUE. — The spectral erythemic reaction of the untanned human skin to ultraviolet radiation. *Id.*, t. 12 (1934), p. 13.
20. — The spectral erythemic reaction of the untanned human skin to ultraviolet radiation. *Id.*, t. 8 (1932), p. 541.
21. — A balanced thermo-couple and filter method of ultraviolet radiometry with practical applications. *Id.*, t. 7 (1931), p. 723.
22. — Tests of a balanced thermo-couple and filter radiometer as a standard ultraviolet dosage intensity meter. *Id.*, t. 8 (1932), p. 759.
23. — A portable ultraviolet intensity meter consisting of a balanced amplifier photoelectric cell and micro-ammeter. *Id.*, t. 13 (1934), p. 231.
24. — A Standard source of ultraviolet radiation for calibrating photoelectric dosage intensity meter. *Id.*, t. 16 (1936), p. 83.

25. — Distribution of the energy in the extreme ultraviolet of the solar spectrum. *Id.*, t. 17 (1936), p. 1.
26. G. DÉJARDIN. — Propriétés des cathodes photoélectriques. *Revue Générale de l'Electricité*, t. 34 (1933), p. 515.
27. G. DÉJARDIN, R. LATARJET. — Sur la sensibilité spectrale des cathodes photoélectriques à l'oxyde de césium. *Comptes Rendus*, t. 196 (1933), p. 470.
28. G. DÉJARDIN, R. SCHWEGLER. — Cellules photoélectriques pour les radiations ultraviolettes. *Journal de Physique*, mars 1933, p. 80 S.
29. — Répartition de l'énergie dans les spectres continus ultraviolets. *Revue d'Optique*, t. 13 (1934), p. 313 et 353.
30. — Détermination directe de la courbe d'énergie de divers rayonnements. *Journal de Physique*, mai 1934, p. 108 S.
31. — Nouvelles lampes à vapeur de mercure à basse pression-haute tension. *Revue d'Optique*, t. 13 (1934), p. 251.
32. C. DORNO. — Ultraviolett durchlässiges Glass. *Strahlentherapie*, t. 33 (1929), p. 389.
33. — *Naturwissenschaften*, t. 18 (1930), p. 249.
34. — Kritik der Cadmiumzelle. *Strahlentherapie*, t. 35 (1930), p. 612.
35. P. DUBOULOZ. — Utilisation des cellules photoélectriques recouvertes de substances fluorescentes comme récepteur dans l'ultraviolet. *Revue d'Optique*, t. 12 (1933), p. 114.
36. — *Thèse de Doctorat*. Lyon, 1933.
37. Ch. FABRY. — Remarques sur les définitions et les unités relatives aux rayonnements employés en thérapeutique. *Revue d'Optique*, t. 12 (1933), p. 465.
38. — Introduction générale à la photométrie. Editions de la *Revue d'Optique*, 1927, p. 124.
39. P. GÖTZ. — Communication au premier Congrès de la lumière, 1928.
40. T. HARRIS. — « Technique of ultraviolet radiology ». Londres, 1933.
41. K. W. HAUSSER. — Einfluss der Wellenlänge in der Strahlenbiologie. *Strahlentherapie*, t. 28 (1928), p. 25.
42. K. W. HAUSSER, W. VAHLE. — Die Abhängigkeit des Lichterythems und der Pigmentbildung von der Schwingungszahl (Wellenlänge) der erregenden Strahlung. *Strahlentherapie*, t. 13 (1922), p. 41.

43. L. HILL. — Die Messung der biologisch aktiven ultravioletten Strahlen des Sonnenlichtes. *Strahlentherapie*, t. 34 (1929), p. 117.
44. H. E. IVES, S. DUSCHMAN, E. KARRER. — Photoelectric current and illumination. *Astrophysical Journal*, t. 43 (1916), p. 9.
45. H. E. IVES. — A precision artificial eye. *Physical Review*, t. 6 (1915), p. 334.
46. P. KELLER. — Die lichtbiologischen Grundlagen einer ultraviolet Lichtdosimetrie. *Strahlentherapie*, t. 29 (1929), p. 129.
47. O. KESTNER. — Eine chemische Messung der kurzwelligen Ultravioletstrahlung und ihre Ergebnisse. *Strahlentherapie*, t. 46 (1933), p. 574.
48. KING, MAC KENZIE. — « Practical ultraviolet Therapie ». Benn, éd.
49. R. LATARJET. — Influence des variations de l'ozone atmosphérique sur l'activité biologique du rayonnement solaire. *Comptes Rendus*, t. 200 (1935), p. 1437.
50. — Influence des variations de l'ozone atmosphérique sur l'activité biologique du rayonnement solaire. *Revue d'Optique*, t. 200 (1935), p. 398.
51. — L'éclairage artificiel en chirurgie. *Lyon Chirurgical*, t. 31 (1934), p. 649.
52. R. LATARJET, G. LIANDRAT. — Photoélément à couche d'arrêt au sélénium pour la mesure du rayonnement solaire dans l'ultraviolet lointain. *Revue d'Optique*, t. 14 (1935), p. 443.
53. R. LATARJET. — Une nouvelle méthode physique de dosimétrie de la lumière. 3^e Congrès de la lumière. Wiesbaden, 1936.
54. — Ozone atmosphérique et héliothérapie. *Comptes Rendus de la Société de Biologie*, t. 119 (1935), p. 610, et 3^e Congrès de la lumière. Wiesbaden, 1936.
55. H. LAURENS. — Some of the physiological effects of radiant energy. *Journal of the Optical Society of America*, t. 18 (1929), p. 237.
56. F. LINKE. — Kritik der Cadmiumzelle. *Strahlentherapie*, t. 35 (1930), p. 62.
57. M. LUCKIESH, L. L. HOLLADAY, A. H. TAYLOR. — Reaction of untanned human skin to ultraviolet radiation. *Journal of the Optical Society of America*, t. 20 (1930), p. 423.

58. M. LUCKIESH, L. L. HOLLADAY. — Fundamental units and terms for biologically effective radiation. *Journal of the Optical Society of America*, t. 23 (1933), p. 197.
59. A. J. MADDOCK. — Absolute intensities in the spectrum of a low pressure quartz mercury vapour discharge burner. *Proceedings of the Physical Society*, t. 48 (1936), p. 57.
60. J. W. MARDEN, K. O. SMITH. — A use for the titanium photoelectric cell. *Transactions of the electrochemical Society*, t. 62 (1932), p. 237.
61. NY-TSI-ZE, CHOONG-SHIN-PIAW. — Coefficients d'absorption de l'ozone. *Comptes Rendus*, t. 195 (1932), p. 309.
62. — Coefficients d'absorption de l'ozone. *Comptes Rendus*, t. 196 (1933), p. 916.
63. E. PETTIT. — *National Research Council Bulletin*, t. 61 (1927), p. 101.
64. E. H. REERINK, A. VAN VIJK. — The photochemical reactions of Ergosterol. *Biochemical Journal*, t. 23 (1929), p. 1294.
65. H. C. RENTSCHLER, D. E. HENRY, K. O. SMITH. — Photoelectric emission of different metals. *Review of scientific instruments*, t. 3 (1932), p. 794.
66. H. C. RENTSCHLER. — An ultraviolet light meter. *American Illuminating Engineering E.*, février 1930, p. 113.
67. R. S. ROCKWOOD, R. A. SAWYER. — The ultraviolet transmission coefficient of the earth's atmosphere. *Journal of the Optical Society of America*, t. 22 (1932), p. 513.
69. A. RÜTTENAUER. — Über Erfahrungen bei ultraviolett Messungen mit der Cadmiumzelle. *Strahlentherapie*, t. 31 (1929), p. 349.
68. A. RÜTTENAUER. — Über ultraviolett Messungen mittels Cadmiumzelle und Elektrometer. *Strahlentherapie*, t. 27 (1928), p. 794.
70. D. SACHS. — Methodes de mesures de l'intensité du rayonnement ultraviolet. Formation photochimique du bleu de molybdène. *Journal de Chimie physique*, t. 29 (1932), p. 474.
71. J. SAIDMAN. — « La sensitométrie cutanée ». G. Doin, éd.
72. — Le problème de l'unité utilisable en thérapeutique. *Annales de l'Institut d'Actinologie*, t. 7 (1932), p. 27.
73. — Classement des procédés de mesures préconisés en thérapeutique. *Annales de l'Institut d'Actinologie*, t. 7 (1932), p. 25.

74. — Quelques problèmes concernant la mesure de l'ultraviolet solaire. *Annales de l'Institut d'Actinologie*, t. 7 (1932), p. 43.
75. — « Les rayons ultraviolets en thérapeutique ». G. Doin, éd.
76. A. H. TAYLOR. — The measurement of erythematous ultraviolet radiation. *Journal of the Optical Society of America*, t. 23 (1933), p. 60.
77. J. et J. F. THOVERT. — Utilisation des cellules photoélectriques à enveloppe de verre pour les recherches sur les rayonnements de très courtes longueurs d'onde. *Comptes Rendus*, t. 191 (1930), p. 1058.
78. E. VASSY. — Influence de la température sur le spectre d'absorption de l'ozone. *Comptes Rendus*, t. 202 (1936), p. 1426.
79. L. J. WOLF. — An ultraviolet recording meter. *Electronics*, t. 9, n° 6 (1936), p. 12.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Physiologie du pigment mélanique chez l'homme

Vu et approuvé :

Paris, le 18 Janvier 1937.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,
Ch. MAURAIN.

Vu et permis d'imprimer,

LE RECTEUR
DE L'ACADÉMIE DE PARIS,
S. CHARLETY.

TABLE DES MATIERES

PRÉFACE	7
AVANT-PROPOS	9
CHAPITRE PREMIER. — Introduction à la dosimétrie du rayonnement ultraviolet des différentes sources utilisées en thérapeutique	15
I. — Mesure de l'intensité d'un rayonnement. Principes généraux	15
II. — Cas d'un rayonnement biologiquement actif	17
III. — Choix du phénomène	19
IV. — L'érythème actinique	20
V. — Détermination de la courbe d'érythème	22
VI. — Unités	31
CHAPITRE II. — Classification des principales méthodes de dosage actuellement connues	33
I. — Dosimétrie photo-chimique	33
II. — Dosimétrie thermo-électrique	42
III. — Dosimétrie photo-électrique	47
CHAPITRE III. — Principe et réalisation d'un nouveau dosimètre	65
CHAPITRE IV. — Exemple d'une mesure. Vérification de l'exactitude de l'appareil	91
CHAPITRE V. — Applications du dosimètre à l'étude des sources artificielles utilisées en thérapeutique	97
I. — Comparaison de diverses lampes à vapeur de mercure	100
II. — Filtration du rayonnement des sources artificielles.	108
III. — Influence de l'alimentation d'une source sur son activité	110
CHAPITRE VI. — Influence de l'absorption atmosphérique sur l'activité biologique du rayonnement solaire	113
Introduction	113
CONCLUSIONS	131
BIBLIOGRAPHIE	137

